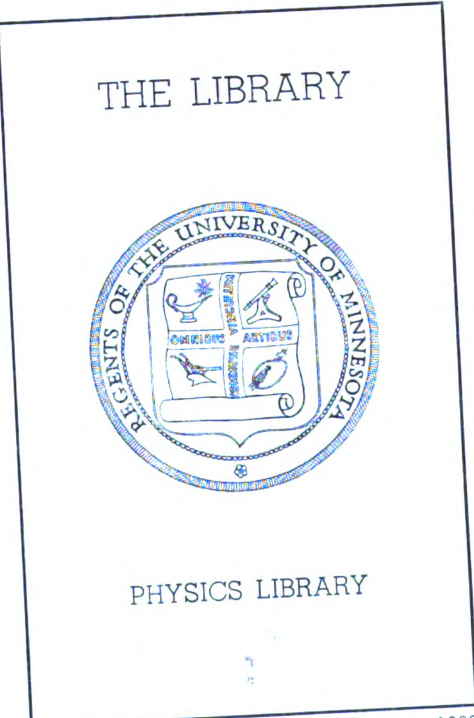





THE LIBRARY
REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MINNESOTA
PHYSICS LIBRARY



Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

Unter der besonderen Mitwirkung

von

Dr. E. Mach,
Professor an der deutschen Universität zu Prag,

und

Dr. B. Schwalbe,
Professor und Direktor des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums zu Berlin,

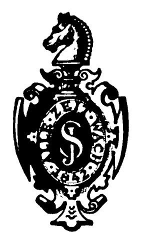
herausgegeben

von

Dr. F. Poske.

Erster Jahrgang

1887—1888.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1888.



Inhalts-Übersicht.

* bedeutet ‚Kleine Mitteilung'. — Die mit kleinerer Schrift und in fortlaufendem Text aufgeführten Titel beziehen sich auf Berichte.

Allgemeines.

Physik.

1. Mechanik der drei Aggregatzustände.

2. Schall.

3. Wärme.





Chemie.

Versammlungen und Vereine.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Correspondenz.

An der Herstellung der Berichte sind neben dem Herausgeber die Herren H. Böttger (Berlin), J. Epstein (Berlin), G. Helm (Dresden), B. Kolbe (St. Petersburg), M. Koppe (Berlin), J. Schiff (Breslau), P. Simon (Berlin), A. Thaer (Berlin), Alb. Voss (Berlin), R. Wronsky (Gartz a. O.) beteiligt gewesen.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

I. Jahrgang. October 1887. Erstes Heft.

Zur Einführung.

Ziel und Wege des physikalischen Unterrichts.

Ziel und Wege des physikalischen Unterrichts sind durch das Wesen und die Art der Physik als Wissenschaft bestimmt.

1. Die physikalische Erkenntniss ist, ihrem Wesen nach, Einsicht in den rationellen Zusammenhang der Thatsachen, welche die Materie und deren Zustandsänderungen betreffen.

In die Grundlagen und die Hauptrichtungen dieser Erkenntniss soll der Physikunterricht einführen. Er soll nicht nur den Inhalt dieser Erkenntniss mitteilen, sondern auch zeigen, wie solche Erkenntniss zu Stande kommt. Denn nur so vermag er die Ueberzeugung zu schaffen, dass es ein sicheres Wissen von den Dingen und den Vorgängen der Wirklichkeit giebt. Er hat zu diesem Zwecke die gedanklichen Processe klar und scharf herauszuarbeiten, durch welche physikalische Einsichten von jeher gewonnen worden sind und noch gewonnen werden.

Die Methode des physikalischen Erkennens muss auch die Methode des physikalischen Unterrichtes sein.

Das Verfahren der Physik ist aber seiner Natur nach nicht von demjenigen des wissenschaftlichen Denkens im allgemeinen verschieden, noch auch ist die Beweiskraft der Folgerungen im Bereiche des physikalischen Forschens eine geringere als auf anderen Wissensgebieten. Indem der Physikunterricht darthut, wie physikalisches Wissen erzeugt wird, liefert er eines der gültigsten Zeugnisse von der Entstehung des Wissens überhaupt. Auch der Physikunterricht hat daher eine im eigentlichen Sinne humanistische Aufgabe.

Je mehr dieser Gedanke bei der Gestaltung des physikalischen Unterrichts Verwirklichung findet, desto mehr wird die Physik sich als ein hervorragendes Bildungsmittel erweisen.

2. Die physikalische Forschung hebt mit Beobachtung und Experiment an; diese liefern die Grundthatsachen und Grundbegriffe, auf welchen sich das System physikalischer Einsichten aufbaut. Beobachtung und Experiment begleiten auch die Physik in allen ihren Entwicklungen, und selbst wo der Weg sich scheinbar von jenen beiden entfernt, da liefern sie doch schliesslich den Prüfstein und das Maass für das Ergebnis.

Demgemäss hat der Physikunterricht auf allen Stufen Beobachtung und Experiment zu pflegen und zu voller Geltung zu bringen, um so mehr, als an ihnen und durch sie auch die Fähigkeit zur genauen Auffassung des Wirklichen geweckt und geübt wird.

Aus dieser hohen Bedeutung der experimentellen Seite der Physik erwächst die Forderung, die Unterrichtsmittel so zu gestalten und zu handhaben, dass die mit ihnen anzustellenden Versuche in einer für alle deutlich wahrnehmbaren und zugleich durchaus überzeugenden Weise verlaufen. Nichts schädigt das Vertrauen zur Wissenschaft wie auch den Erfolg des Unterrichts mehr, als wenn undeutlich aufgefasste oder nicht völlig beweiskräftige Versuche die Stelle exakter Nachweise vertreten. Es ist deshalb der Vervollkommnung sowohl der Unterrichtsmittel als auch der experimentellen Technik stete Fürsorge zuzuwenden.

3. Die Physik als Wissenschaft findet erst in Verbindung mit der Mathematik ihre Vollendung. So kann auch der physikalische Unterricht der mathematischen Bearbeitung des Erfahrungsmaterials nicht entraten. Doch bedarf das Eingreifen der Mathematik in den physikalischen Unterricht einer genaueren Begrenzung.

Der Gebrauch der Mathematik innerhalb des physikalischen Bereichs ist einerseits darauf gerichtet, ein geometrisches Abbild oder eine analytische Formel zu gewinnen, welche sich mit der untersuchten Erscheinung in allen wesentlichen Punkten deckt. Insofern die mathematische Analyse der Erscheinungen diesem Zwecke dient, erscheint sie als eine besondere Form derselben zerlegenden Arbeit des Denkens, welche auch in den nicht der Rechnung unterworfenen Teilen der Physik auszuführen ist. Die Bewältigung, welche auf diese Weise der empirische Stoff durch das mathematische Denken erfährt, ist als Erkenntnissgewinn so wertvoll, dass ihr soviel Raum zu gewähren ist, wie die verfügbare Zeit und die Rücksicht auf das Ganze des physikalischen Unterrichts nur irgend gestatten.

Andrerseits verhilft die Mathematik dazu, das Gesetz einer Erscheinung aus allgemeineren mechanischen Prinzipien abzuleiten. Auch diese zweite Form der mathematischen Behandlung wird im Unterricht eine Stelle finden müssen, aber nur so weit, als die vorausgesetzten Prinzipien von unmittelbarer Anschaulichkeit und auch für die Schüler hinlänglich beglaubigter Allgemeingültigkeit sind.

Auf die im Vorstehenden angedeuteten Gesichtspunkte habe ich bei Eröffnung dieser Zeitschrift hinweisen wollen. Von der Zustimmung der Fachgenossen und ihrer thätigen Mitwirkung wird es abhängen, in welchem Maasse die ausgesprochenen Forderungen durch diese Zeitschrift ihrer Erfüllung entgegengeführt werden.

Dr. Fritz Poske.



Über den Unterricht in der Wärmelehre.

Von
Professor Dr. **E. Mach** in Prag.

1. Ohne Zweifel hat in den letzten Dezennien die didaktische Methode bedeutende Fortschritte gemacht. Betrachten wir aber als Hauptzweck des naturwissenschaftlichen Elementarunterrichts nicht sowohl die Erwerbung einer Summe positiver Kenntnisse, als vielmehr eine gewisse Erziehung im Beobachten und besonders im naturwissenschaftlichen Denken, die Gewöhnung an ein feineres logisches Verfahren, so finden wir an vielen der gangbaren elementaren Darstellungen der Wärmelehre bei aller ihrer Vortrefflichkeit mancherlei auszusetzen.

Wenn z. B. gleich zu Anfang die „Wärme“ als „Ursache der Wärmeerscheinungen“ eingeführt wird, wenn alsbald vom „Wesen der Wärme“ die Rede ist, so müssen wir uns fragen, welchen Vorteil es gewähren kann, zu den klaren Thatsachen sofort ein unbekanntes müssiges Etwas hinzuzufügen und dasselbe mit einem Namen zu belegen? Was sollen wir denken, wenn wir gelegentlich hören, dass die Gase sich „proportional der (hypostasierten) Temperatur ausdehnen“, nachdem wir zuvor die Temperaturzahlen willkürlich den Volumzuwüchsen der Gase zugeordnet haben? Mit welchem Gewissen stellen wir dem Schüler die „Wärmeeinheit“ vor als „die Wärmemenge, welche nötig ist, ein Kilo Wasser um 1° C zu erwärmen“, wobei der neue Begriff nicht erläutert, sondern als selbstverständlich und schon vorhanden eingeführt wird? Oder wird der Unterricht vielleicht zweckmässiger, wenn, wie es zuweilen geschieht, zur Vermeidung der bezeichneten Verschwommenheiten gar mit $1/2 mv^2$ begonnen wird?

Wir dürfen uns dieser Dinge wegen keine zu starken Vorwürfe machen. Es sind natürliche Ueberreste der scholastischen Methode unserer Vorfahren, deren Verstand bei aller seiner Schärfe immer nur vom Dogma ausging und wieder zum Dogma zurückkehrte. Diese Dinge werden alsbald verschwinden, wenn wir sie mit schärferer Aufmerksamkeit betrachten[1]).

Wie ich glaube, hat man sich schon beim Elementarunterricht gegenwärtig zu halten, dass das Objekt der Naturwissenschaft die Thatsachen sind, der Begriff hingegen das Mittel, um die Thatsachen in Gedanken darzustellen. Zur Thatsache führen die Beobachtung und das Experiment, deren Wert für den Unterricht nicht hoch genug angeschlagen werden kann. Der physikalische Begriff, mit welchem wir uns hier einen Augenblick beschäftigen wollen, entsteht unter dem Eindruck gewisser Thatsachen oft instinktiv. Der Begriff wird also im Unterricht am zweckmässigsten unter dem Eindruck derselben Thatsachen historisch entwickelt. Nur werden wir, weil wir nach einem bewussten Besitz streben, uns klar machen, warum und zu welchem besonderen Zweck der Begriff entstanden ist, wodurch wir die Freiheit erlangen, den Begriff unter veränderten Umständen wieder umzuformen oder durch einen neuen zu ersetzen. Es sei fern von mir, didaktisch erfahrenen und erprobten Männern hier im Einzelnen darlegen zu wollen, wie sie den Unterricht anzulegen haben. Ich möchte aber an einfachen Beispielen, an den Begriffen Temperatur und Wärmemenge, erläutern, welche Gedanken man sich nach meiner Meinung gegenwärtig halten muss, um in der Schule mit

[1]) Eine ausführlichere wissenschaftliche Kritik der Begriffe der Wärmelehre hoffe ich demnächst zu veröffentlichen.



dem Richtigen und wahrhaft Nützlichen nicht auch Unrichtiges und Überflüssiges zu bieten, welches ja weniger selbständigen Köpfen zu ihrem Schaden oft lebenslänglich haften bleibt.

---

2. Die tastende Hand empfindet die uns umgebenden Körper kalt, kühl, lau, warm, heiss. Wir nennen diese Reihe der Empfindungen: Wärmeempfindungen. Körper, die uns besondere Wärmeempfindungen erregen, zeigen auch ein bestimmtes Verhalten gegen andere Körper. Ein heisser Körper sinkt schmelzend in Wachs ein, bringt einen Wassertropfen zischend zur Verdampfung, oder wird leuchtend (glühend). An einem sehr kalten Körper erstarrt ein Wassertropfen zu Eis. Ein warmer Körper erwärmt bei Berührung einen kalten u. s. w.

Den Inbegriff jenes physikalischen Verhaltens eines Körpers, welches wir zunächst als an die besondere Wärmeempfindung geknüpft erkennen, die er uns erregt, nennen wir seinen Wärmezustand.

Dasselbe (laue) Wasser kann der rechten Hand, welche eben in heisses Wasser tauchte, kalt und der linken Hand, die sich zuvor in kaltem Wasser befand, warm erscheinen. Es wäre natürlich ganz verkehrt zu sagen: Der Körper, welcher uns warm erscheint, ist eigentlich kalt, oder umgekehrt. So lange es sich nur um die Wärmeempfindung handelt, hat lediglich der Wärmesinn zu entscheiden. Kommt es uns aber auf das physikalische Verhalten eines Körpers an, auf seine Beziehung zu anderen Körpern, so ist die Wärmeempfindung deshalb ein unzuverlässiges Merkmal dieses Verhaltens, weil dieselbe nicht nur von dem Körper, sondern auch von den schwer controlierbaren Zuständen des Empfindungsorgans abhängt. Es ist desshalb zweckmässig, sich nach einem einfacheren zuverlässigeren Merkmal oder Zeichen des Wärmezustandes umzusehen, bei welchem der Einfluss zufälliger oder fremdartiger Umstände leichter auszuschliessen ist.

Als ein sehr brauchbares Zeichen des Wärmezustandes eines Körpers erkannte Galilei das Volum desselben. Das Volum des Körpers wächst im allgemeinen, wenn er uns wärmer erscheint. Zwar ändert sich mit dem Wärmezustand eines Körpers auch dessen galvanischer Leitungswiderstand, dessen Stellung in der thermo-elektrischen Spannungsreihe, dessen Brechungsexponent u. s. w., doch ist bisher keines dieser Merkmale in so einfacher Weise zu beobachten, bei keinem ist der Einfluss fremdartiger oder zufälliger Umstände so leicht auszuschliessen, wie bei dem Volum.

Die Beobachtung lehrt, dass ein wärmerer Körper bei Berührung den kälteren erwärmt und sich selbst so weit abkühlt, dass beide sich gleich warm anfühlen. Sich berührende Körper nehmen also gleiche Wärmezustände an. Hierdurch wird es möglich, das Volum eines bestimmten Körpers, des Thermoskopes, welchen man nach einander mit verschiedenen Körpern in Berührung bringt, als Merkmal des Wärmezustandes dieser Körper zu benutzen (Galilei).

Durch den Umstand aber, dass wir am Thermoskop noch Volumänderungen wahrnehmen, wo wir durch den Wärmesinn längst keine Unterschiede mehr empfinden, durch die feinere Unterscheidung der Wärmezustände mit Hilfe des Thermoskopes, wird unser bisheriger Standpunkt merklich verschoben. Wir schreiben nun (nach Analogie der directen Beobachtung) zwei Körpern gleiche Wärmezustände zu, wenn dieselben (von Druck und andern Umständen abgesehen) nicht volumändernd aufeinander wirken. Allerdings ist es dann nicht selbst-



verständlich, dass zwei Körper *A* und *B*, welche auf *C* nicht volumverändernd wirken, auch ihr Volum gegenseitig nicht ändern[2]). Nur die Erfahrung kann dies lehren. Und in der That lehrt dieselbe, dass eine Reihe von Körpern: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, ..., von welchen jeder mit dem folgenden in Berührung keine Volumänderung erfährt, auch bei jeder beliebigen Änderung der Anordnung, so weit man beobachten kann, diese negative Eigenschaft beibehält. Indem wir diese allgemeinen Beziehungen auch für die Verbindung des Thermoskopes mit andern Körpern als gültig betrachten, sehen wir als Körper von gleichem Wärmezustand solche an, welche am Thermoskope gleiche Volumanzeigen geben.

Einem Volum entspricht bei passender Wahl des thermoskopischen Stoffes nur ein Wärmezustand (Ausnahmen: Wasser u. s. w.). Bisher war auch die Annahme stets zureichend, dass die Gesammtheit der Wärmezustände eine einfache Mannigfaltigkeit bildet. Die Wärmezustände stellen demnach eine continuierliche Reihe dar, so dass ein Körper in einem in der Reihe vorausgehenden Zustand volumverkleinernd auf einen Körper wirkt, der sich in einem in der Reihe nachfolgenden Zustande befindet.

Wir ordnen also jedem Wärmezustand ein Volum des thermoskopischen Stoffes als Zeichen zu. Zur Vergleichung verschiedener Thermoskope und zur leichteren Orientierung an einem Thermoskop, bezeichnen und benennen wir bestimmte Volumina nach den zugehörigen leicht herstellbaren Wärmezuständen (Eispunkt, Siedepunkt des Wassers, Siedepunkt des Leinöls u. s. w.). Um solche Namen nicht in belästigender und verwirrender Weise zu häufen, teilen wir schliesslich dem thermoskopischen Volum Ordnungszeichen (Namen) zu, die selbst ein sehr einfaches System bilden, d. h. wir ordnen dem Volum nach einem (übrigens willkürlichem) Prinzip Zahlen zu, welche als Zeichen der Wärmezustände Temperaturen heissen. Wegen der Willkürlichkeit der Wahl des thermoskopischen Stoffes und wegen der Willkürlichkeit des Zuordnungsprinzipes der Zahl zum Volum[3]) beruht also der Zusammenhang der Wärmezustände und Temperaturzahlen auf Übereinkunft. Die Temperaturzahlen *a*, *b*, *c* unseres conventionell graduierten Thermoskopes, des Thermometers, besagen also in quantitativer Beziehung nur, dass die entsprechenden Wärmezustände *A*, *B*, *C* stets in derselben Reihenfolge liegen, wie die Zahlen *a*, *b*, *c*.

Die Beobachtung, dass die (permanenten) Gase bei gleichen Wärmezustandsänderungen auch sehr nahe gleiche Volumänderungen erfahren, ertheilt den Gasen einen wesentlichen Vorzug vor anderen thermoskopischen Stoffen. Erweisen sich nun noch die von den Gasen aufgenommenen Wärmemengen den Volumzuwüchsen proportional, so ist die Gleichheit der Zahlenschritte in der Thermometerskale durch eine wirkliche Wärme-Eigenschaft motiviert, während sie vorher nur in willkürlicher Weise an die Gleichheit der Volumzuwüchse gebunden war. Durch Benutzung der Gedanken J. R. Mayer's und Carnot's gelingt es schliesslich, ein mechanisches Merkmal des Wärmezustandes zu finden und so zu der allgemein anwendbaren (absoluten) Temperaturskale von W. Thomson zu gelangen. Dass diese Skale von der bisherigen Gasthermoterskale nicht merklich

---

[2]) Maxwell hat meines Wissens zuerst auf diesen Punkt aufmerksam gemacht. Seine Betrachtungen sind ganz analog meinen anderwärts gegebenen Ausführungen über den Massenbegriff.

[3]) Bei Galilei entspricht der arithmetischen Progression der Volumina auch eine arithmetische Progression der Temperaturzahlen, während bei Dalton letztere einer geometrischen Volumprogression entspricht.



verschieden ist, muss als ein glücklicher Umstand betrachtet werden, der aber die Richtigkeit des vorher Ausgeführten nicht aufhebt.

Eine Volumvergrösserung des Gases ist ins Unbegrenzte denkbar, eine Volumabnahme aber nur bis zum Verschwinden des Gasvolums. Demnach scheint es, als ob die Reihe der Wärmezustände einerseits (nach oben) unbegrenzt, anderseits (nach unten) begrenzt wäre. Diese Bemerkung leitet bekanntlich zur Annahme eines absoluten Nullpunktes, dessen Einführung ja manche Formeln recht vereinfacht. Abgesehen aber davon, dass ebenso berechtigte Betrachtungen anderer Art (Black) zu anderen absoluten Nullpunkten (z. B. —800° C statt —273° C) führen, abgesehen davon, dass vermöge der physikalischen Eigenschaften eines Gases von der Darstellung des dem Volum Null entsprechenden Wärmezustandes nicht die Rede sein kann, müssen wir uns gegenwärtig halten, dass die Begrenztheit oder Unbegrenztheit der Reihe der gewählten Zeichen nicht über die Begrenztheit oder Unbegrenztheit der Wärmezustände entscheiden kann, welche Entscheidung gänzlich der Erfahrung anheimfällt[4]).

Mehr als eine Vereinfachung des Ausdrucks wird nur der in der Einführung des absoluten Nullpunktes sehen dürfen, welcher auch den hypothetischen Teil der mechanischen Wärmelehre für ausgemachte Wahrheit hält.

---

3. Ein warmer Körper erregt uns stets Wärmeempfindung, so oft wir demselben den Sinn und die Aufmerksamkeit zuwenden. Dadurch entsteht leicht instinktiv der Eindruck eines in dem Körper enthaltenen Beständigen, einer Substanz, eines direct wahrnehmbaren Wärmestoffes, welcher die ganze naive ältere Forschung beherrscht. Dieser instinktive Drang führt auch zu dem sehr wichtigen Begriff: Wärmemenge.

Die Sonderung der Begriffe „Temperatur“ und „Wärmemenge“ tritt übrigens sehr mühsam auf. Noch Richmann vermengt beide Begriffe unter dem Namen „calor“, und erst bei Black vollzieht sich die Sonderung vollständig. Der Gang ist etwa folgender:

Ein kälterer Körper erwärmt sich bei Berührung an einem wärmeren Körper, während dieser sich abkühlt. Der eine erwärmt sich also auf Kosten des andern. Mit Hilfe der Stoffvorstellung findet Richmann für die Temperatur N der Mischung gleichartiger Massen m und m' von den Temperaturen u und u' den Wert:

$$N = \frac{m u + m' u'}{m + m'}.$$

Richmann denkt sich den Wärmestoff nach dem Volum der Massen verteilt und wendet diese Anschauung auch irrtümlich auf den Fall ungleichartiger Massen an. Erst Black berichtigt diesen Irrtum und setzt, ebenfalls von der Stoffanschauung ausgehend, in bestimmter Weise die Temperatur proportional dem Wärmestoffinhalt derselben Masse.

---

[4]) Bezeichnen wir die Tonempfindung durch die zugehörige Schwingungszahl n, so könnte es scheinen, dass die Reihe der Tonempfindungen nach oben unbegrenzt, nach unten begrenzt sei. In Wirklichkeit hat die Tonempfindung nach beiden Seiten weit engere Grenzen als die Schwingungszahl, deren Denkbarkeit mit der Existenz des durch dieselbe Bezeichneten nichts zu schaffen hat. Bezeichnen wir die Tonempfindung, was noch passender ist, mit $\log n$, so reichen jetzt die Zeichen für eine nach beiden Seiten unbegrenzte Reihe, die aber gleichwohl begrenzt bleibt. Analog verhält es sich mit den Wärmezuständen und deren Zeichen. Vielleicht sind die Wärmezustände einseitig, vielleicht beiderseits begrenzt, vielleicht unbegrenzt.

Wir sind heute sehr geneigt, da uns das arithmetische Mittel von vielen Anwendungen her sehr geläufig ist, die Richmann'sche Regel für fast selbstverständlich zu halten. Dass dies nicht zutrifft, lässt sich erstens historisch nachweisen[5]), zweitens dadurch, dass gerade die begabteren Schüler an der Regel Anstoss nehmen, und drittens lehrt dies die folgende Ueberlegung.

Da wir schon durch die Erfahrung lernen müssen, dass Körper von ungleicher Temperatur ihre Temperatur bei Berührung überhaupt gegenseitig ändern, so werden wir noch weniger ohne Versuch und Beobachtung voraus wissen können, wie (quantitativ) diese Aenderung eintritt. Vielleicht erraten wir das Richtige. Ob wir aber richtig geraten haben, muss der Versuch entscheiden. Das arithmetische Mittel der Temperaturen zweier gleicher gleichartiger Massen als Ausgleichstemperatur ist also keineswegs selbstverständlich.[6])

Wie haben wir nun den wichtigen Begriff „Wärmemenge“ in bewusster Weise wieder zu gewinnen? Zwei gleiche gleichartige Massen erteilen sich, wie die Erfahrung lehrt, (sehr nahe) gleiche entgegengesetzte Temperaturänderungen. Zwei gleichartige ungleiche Massen m, m' erteilen sich Temperaturänderungen (in Graden ausgedrückt) v, v', die sich umgekehrt wie die Massen verhalten, so dass $mv = mv'$, oder wenn man auf das Zeichen der Temperaturänderung Rücksicht nimmt, dass $mv + m'v' = 0$. Der Wert des Produktes mv, welcher beiderseits gleich ist, hat also bei Beurteilung des Wärmevorganges eine maassgebende Bedeutung. Wir nennen das Produkt mv: Wärmemenge. Nichts steht im Wege uns, in der Absicht eine anschauliche Vorstellung zu gewinnen, eine mv proportionale Flüssigkeitsmenge zu denken, welche aus einem Körper in den andern überfliesst, ohne doch diese Vorstellung ernst zu nehmen. Die Definition der Einheit der Wärmemenge ergiebt sich jetzt in vollkommen klarer Weise von selbst.

Bei Mischung von Wasser mit andern Stoffen ergiebt sich (was zunächst das Erstaunen der Physiker Boerhave und Fahrenheit erregte), dass die Gleichung: $mv + m'v' = 0$ nicht gilt. Man kann aber die einmal gewonnene Vorstellung mit einer Modifikation festhalten und $mv + \varkappa . m'v' = 0$ an die Stelle der früheren Gleichung setzen. Hierdurch ergiebt sich in dem constanten Faktor ($\varkappa$) der Begriff specifische Wärme, welcher wie der Begriff Wärmemenge sinnlich veranschaulicht werden kann.

Selbst der durch schärfere Beobachtung geführte Nachweis der Ungenauigkeit der Ausgangsgleichung kann dem Begriff Wärmemenge den praktischen Wert nicht mehr benehmen. Es lässt sich stets ermitteln, dass z. B. w Kilo Wasser, durch die Abkühlung eines Körpers um eine Anzahl Grade, von 0° auf 1° C. erwärmt werden. Wir betrachten dann w als das Maass der Wärmemenge jenes Abkühlungsvorganges.

Es wird nun gewiss recht schwierig sein, gleich im Beginn des Schulunterrichts die Begriffe mit voller Schärfe zu entwickeln. Es ist dies aber auch durchaus nicht nötig. Es kommt vielmehr darauf an, das Wort vorsichtig zu vermeiden, welches die Entstehung falscher oder überflüssiger Vorstellungen begünstigt.

---

[5]) Krafft hat noch wenige Jahre vor Richmann (1744—1746) für denselben Fall die haarsträubende Formel aufgestellt:

$$N = \frac{11\,m\,u + 8\,m'\,u'}{11\,m + 8\,m'}.$$

[6]) Die Regel ist so wenig selbstverständlich, dass sie, genau genommen, nicht einmal richtig ist. Trifft sie auch in einem gegebenen Fall für ein Thermometer genau zu, so muss sie für eine andere thermometrische Substanz ungenau sein. Die Aenderung der specifischen Wärme mit der Temperatur führt ebenfalls eine Abweichung von der Regel herbei.

Eine Influenzmaschine ohne Polwechsel.

Von

Professor Dr. **A. Weinhold** in Chemnitz.

(Vom Verfasser nach der 2. Auflage der „Physikalischen Demonstrationen“ bearbeitet).

Der leidige Polwechsel der Influenzmaschinen, welcher zumal beim Laden grösserer Verstärkungsbatterieen oft recht unangenehm ist, hat bekanntlich seinen Grund darin, dass die Elektricität der Belegungen der festen Scheibe allmählich eine Ansammlung entgegengesetzter Elektricität auf der nicht belegten Fläche der festen Scheibe bewirkt, und dass diese entgegengesetzte Elektricität die Wirkung der Elektricität der Belegungen zuerst schwächt, dann ganz aufhebt, und dass endlich, wenn nämlich die Elektricität der Belegungen beim Aufhören weiterer Zufuhr sich rascher verliert, als jene entgegengesetzte Elektricität, die überwiegende Wirkung der letzteren eine umgekehrte Wirkung der Maschine veranlasst.

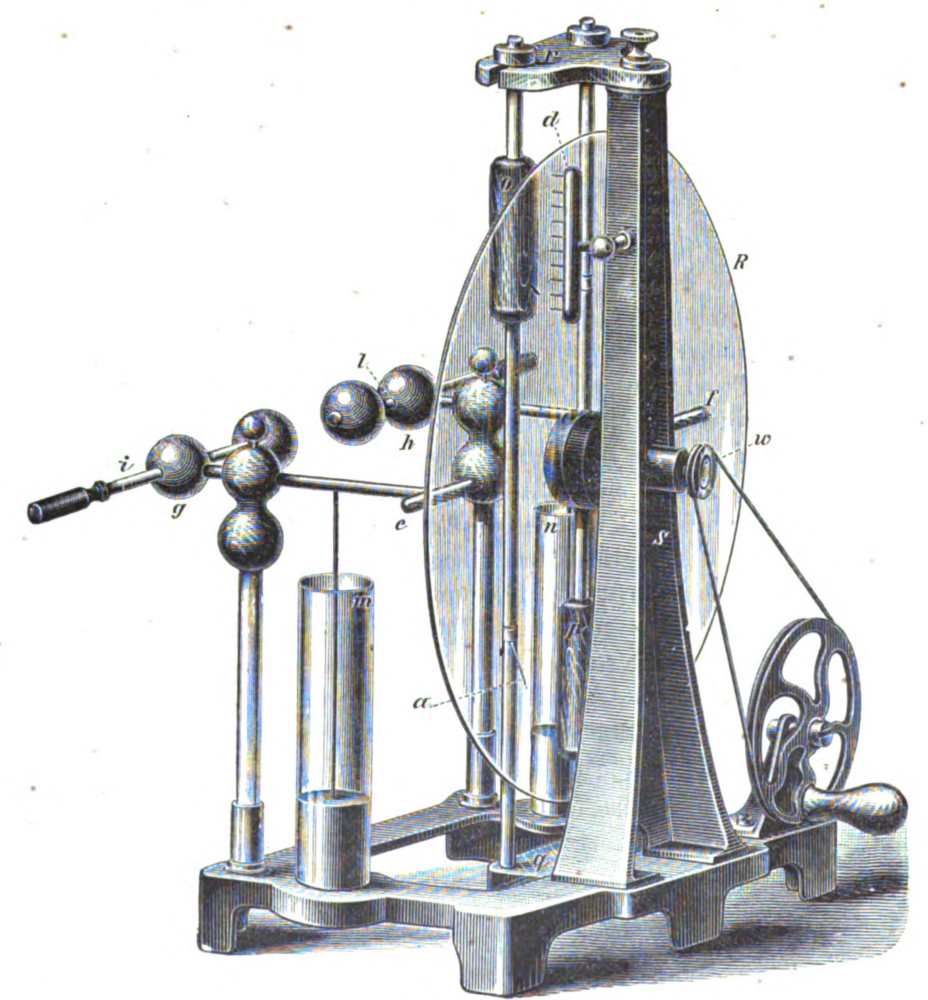


Fig. 1. (1/5 natürl. Grösse).

Maschinen verschiedener Construktion, insbesondere aber Maschinen aus verschiedenem Material (auch bei ganz gleicher Construktion) zeigen den Uebelstand des Polwechsels in sehr verschiedenem Grade; mit völliger Sicherheit be-

seitigen lässt er sich nur dadurch, dass man zwischen den die Influenzierung bewirkenden Leitern (den Belegungen der gewöhnlichen Maschinen) und der rotierenden Scheibe gar keinen starren Isolator, also keine feste Scheibe anbringt und so eine Anhäufung der entgegengesetzten Influenzelektricität unmöglich macht.[1])

Verfasser wendet deshalb anstatt der Belegungen der festen Scheibe als erregende Leiter Cylinder mit abgerundeten Enden aus poliertem, hartem Holze (Ahorn) an, welche auf Flintglasstäbe aufgesteckt sind. Fig. 1 giebt eine anisometrische Ansicht der Maschine[2]). Das Gestell besteht aus einem gusseisernen Rahmen mit 5 Füssen und einer durchbrochenen gusseisernen Säule *S*; letztere hat in der Mitte ihrer Höhe einen ungefähr cylindrischen Zapfen, in dessen conischer Durchbohrung die Achse der Maschine liegt. Die Achse trägt an der Vorderseite[3]) eine starke, flach cylindrische Scheibe aus Hartgummi mit centralem Schraubenansatz; eine zweite gleiche, aber in der Mitte mit Muttergewinde versehene Hartgummischeibe ist auf den Schraubenansatz aufgeschraubt, und zwischen beide Hartgummischeiben ist die Glasscheibe *R* (mit dünnen Zwischenlagen von Papier) festgeklemmt. Rechts unten und links oben (von der Rückseite der Maschine aus betrachtet) trägt die Säule *S* die metallenen Kämme *c* und *d*[4]); dieselben bestehen aus cylindrischen Messingröhren mit halbkugeligen Enden und spitzen Nadeln, welche der Glasscheibe zugewandt sind und möglichst nahe an dieselbe heranreichen. Auf der Vorderseite der Scheibe stehen diesen Kämmen die Holzcylinder *o* und *p* gegenüber; diese Cylinder sind soweit durchbohrt, dass sie sich lose auf die Flintglasstäbe aufschieben lassen, von denen sie getragen werden; damit sie an der richtigen Stelle gehörig festsitzen, sind die Glasstäbe da durch umgewickeltes und festgeleimtes Papier etwas verdickt. Die Glasstäbe werden gehalten durch zwei Brettchen *q* und *r*; ersteres sitzt am Fussgestell der Maschine, letzteres auf der Säule *S*. Fig. 2 A zeigt *r* in Ansicht von oben, Fig. 2 B das obere Ende eines Glasstabes in seitlicher Ansicht. Auf die oberen Enden der Glasstäbe sind runde Holzfassungen gekittet, deren unterer, dünnerer Theil in die Ausschnitte des Brettchens *r* passt, während der obere, dickere Theil auf *r* aufliegt; die unteren Enden der Glasstäbe stecken lose in Durchbohrungen von *q*. Hebt man die Glasstäbe etwas, so lassen sie sich leicht seitlich aus den Schlitzen von *r* herausnehmen, und eben so leicht lassen sie sich wieder einsetzen.

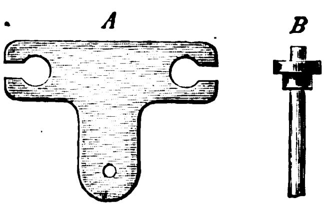


Fig. 2. (1/5 natürl. Grösse).

Jeder Glasstab trägt eine schlanke Spitze aus ganz dünnem Schablonenkupfer, *a* und *b*[5]); die breiten Enden der Kupferstreifchen werden durch Papierstreifen, welche um die Glasstäbe gelegt und festgeleimt sind, gehalten. Die Holzcylinder sind mit den Kupferspitzen leitend verbunden durch etwa 2 mm breite, mit Fischleim auf die Glasstäbe geklebte Stanniolstreifen; diese liegen auf der der Glasscheibe zugewendeten Seite

[1]) Auch die bekanntlich sehr guten Voss'schen Influenzmaschinen sind — entgegen der Angabe von Nebel (Exner's Repert. d. Phys. 1887, Bd. 23, S. 324) — von dem Uebelstande des Polwechsels, zumal bei feuchter Luft, nicht vollkommen frei.

[2]) Höhe : Breite : Tiefe = 10 : 9 : 5.

[3]) Als Vorderseite ist die dem Auditorium zugewendete, also die in der Figur nach links liegende Seite, als Rückseite die dem Experimentator zugewendete Seite mit der Kurbel, also die in der Figur rechts liegende Seite bezeichnet.

[4]) In Fig. 1 ist nur *d* sichtbar; *c* ist in Fig. 3 zu sehen.

[5]) Nur *a* ist in Fig. 1 deutlich sichtbar; *b* siehe Fig. 3.

der Glasstäbe und erstrecken sich je von einem Kupferstreifen bis fast zum abgewendeten Ende der Durchbohrung des zugehörigen Holzcylinders. Die Holzcylinder sollen von der Glasscheibe um ca. 10 bis 12 mm abstehen[6]); die Kupferspitzen werden so gebogen, dass sie bis ganz dicht an die Glasscheibe heranreichen; es schadet auch nichts, wenn sie ganz leise an der Scheibe anliegen. Auf der Vorderseite der Scheibe liegen die den Kämmen *c* und *d* ganz ähnlichen Kämme *e* und *f*; sie sitzen an horizontalen, hohlen Messingstäben mit hohlen Kugeln *g* und *h*, in denen sich die mit Hartgummigriffen versehenen Conductoren *i* und *l* verschieben lassen; die Kugeln *g* und *h* sind um eine horizontale Achse mit mässiger Reibung drehbar, damit man den Conductoren *i* und *l* eine geneigte Lage geben kann. Die hohlen Stäbe, welche *e* mit *g*, bezw. *f* mit *h* verbinden, sind in kugelig gerundeten Holzfassungen verschiebbar und können durch hölzerne Schrauben mit kugeligen Köpfen so festgestellt werden, dass die Spitzen der Kämme *e* und *f* möglichst nahe an die Glasscheibe heranreichen. Die Holzfassungen, welche die Messingstäbe tragen, sitzen auf Flintglasstäben, die mit ihren unteren Enden in Messingfassungen eingekittet und mit diesen auf das Fussgestell festgeschraubt sind. Zwei kleine Verstärkungsflaschen *m* und *n* stehen in Vertiefungen des eisernen Fussgestells; die äusseren Belegungen derselben sind unter sich durch dieses Gestell leitend verbunden; die inneren Belegungen stehen mit je einem Conductor in Verbindung durch ein Metallstäbchen, dessen oberes Ende in einem Loch des Messingstabes steckt, und das sich mit mässiger Reibung etwas in vertikaler Richtung verschieben lässt. Drückt man ein solches Stäbchen abwärts, so wird sein oberes Ende frei, so dass sich die Verstärkungsflasche etwas nach der Seite neigen und dann leicht aus der Vertiefung des Fussgestells herausheben lässt.

Die leichte Zerlegbarkeit der Maschine bildet einen grossen Vorzug der vorliegenden Construktion. Will man die Scheibe der Maschine behufs ihrer Reinigung losnehmen, so entfernt man zuerst die Glasstäbe mit den Holzcylindern, dann die Verstärkungsflaschen, schiebt hierauf die Conductoren soweit zurück, dass die Kämme *e* und *f* nahe an die Holzfassungen kommen und schraubt endlich die am hinteren Ende der Achse sitzenden zwei Messingmuttern ab — die grössere, am Rande mit eingedrehter Nuth versehene Mutter bildet den Schnurwirtel der Achse; die kleinere, in einer centralen Vertiefung der grösseren liegende dient als Gegenmutter zur Verhütung unbeabsichtigten Losdrehens beim Anhalten der Kurbel der in Bewegung befindlichen Maschine. Nach dem Entfernen des Schnurwirtels lässt sich die Achse nach vorn aus ihrem Lager herausschieben und dann sammt der Scheibe nach oben aus dem Gestell herausheben. Man könnte auch die Achse sammt Schnurwirtel an ihrer Stelle lassen und die Glasscheibe nach dem Abschrauben der vorderen Hartgummischeibe von der Achse losnehmen; das empfiehlt sich aber weniger, weil man die an der Glasscheibe festsitzende Achse (nach dem Abwischen des anhaftenden Oeles) sehr bequem als Handgriff beim Reinigen der Scheibe benutzen kann.

Um die Maschine auch bei ungünstiger Luftbeschaffenheit, zumal in einem stark gefüllten Auditorium brauchbar zu erhalten, erwärmt man sie etwas durch die strahlende Wärme eines Gas-Argandbrenners, der auf einem kleinen Fusse montiert ist und sich innerhalb des Rahmengestells der Maschine aufstellen lässt; die Flamme

[6]) Bei grösserem Abstande influenzieren sie die Metallkämme auf der Rückseite der Glasscheibe zu wenig; bei geringerem Abstande geht zu viel Elektricität von ihnen auf die Scheibe über. Auch wenn man die Cylinder aus besser leitendem Material als Holz, etwa aus Metall macht, geben sie zuviel Elektricität an die Scheibe ab.



des Brenners soll etwas tiefer liegen, als die Achse der Maschine. Behufs raschen Anwärmens giebt man dem Brenner die Stellung innerhalb des Gestells, aber so weit von der Scheibe weg, als der freie Raum des Gestells erlaubt; nach erfolgtem Anwärmen stellt man ihn ausserhalb des Gestells, aber noch ziemlich nahe an den Conductoren auf[7]).

Nicht selten kommt es vor, dass eine Influenzmaschine auch nach dem Anwärmen nicht ordentlich gehen will; in solchem Falle hilft nach den Erfahrungen des Verfassers ganz sicher das Abwaschen der Scheibe; gewöhnlich genügt reines Wasser, manchmal aber muss man kaltes Seifenwasser nehmen[8]).

Zum Waschen bedient man sich zweckmässig eines weichen Schwammes; nach dem Waschen, zumal wenn man Seife benutzt hat, spült man reichlich mit reinem Wasser ab, lässt die Scheibe etwas ablaufen, trocknet sie durch sanftes Wischen mit einem reinen, weichen Tuche oder durch Betupfen mit Fliesspapier oberflächlich und dann vollständig durch Erwärmen, entweder nach dem Wiedereinsetzen in die Maschine mittels des Argandbrenners oder vorher durch Aufstellen am warmen Ofen.[9])

Was durch das Abwaschen eigentlich entfernt wird, vermag Verfasser nicht anzugeben; möglicherweise handelt es sich um minimale, von der Verbrennung von Leuchtgas herrührende Spuren von Schwefelsäure — gewöhnlicher Staub kann sich bekanntermaassen in grossen Massen an die Scheibe einer Influenzmaschine ansetzen, ohne der Wirkung der Maschine erheblich zu schaden.

Um die Maschine zu erregen, entfernt man die Conductoren einige Centimeter von einander, versetzt die Scheibe in Drehung und nähert ihr ein durch Reiben kräftig elektrisiertes Hartgummiblatt von der Rückseite her an einer der Stellen, welche den Kupferspitzen *a* und *b* gegenüberliegen; da man die Kurbel mit der Rechten dreht, ist es am bequemsten, das Horngummiblatt links unten (gegenüber *a*) an die Scheibe zu halten; dann wird *i* zum negativen, *l* zum positiven Conductor. Zum Reiben des Hartgummiblattes benutzt man ein Stückchen Pelzwerk oder besser noch Hemdenflanell, weil sich von letzterem weniger leicht

---

[7]) Am Brenner selbst angebracht oder noch besser in die Schlauchleitung, welche ihn speist, eingeschaltet ist eine Reguliervorrichtung, welche gestattet den Gaszufluss rasch soweit zu verringern, dass nur noch ein kaum sichtbarer, blauer Ring dicht über den Brennermündungen übrig bleibt, und welche doch ein völliges Ausdrehen der Flamme verhindert; das Verkleinern der Flamme bis zur fast völligen Unmerklichkeit ist häufig nötig, wenn man die Funken oder Strahlungsbüschel zeigen will.

Neuere Argandbrenner sind häufig mit einem drehbaren Griff versehen, der durch Drehung einer in der Brennerachse liegenden Schraube eine Regulierung der Flammengrösse ohne Gefahr des Auslöschens gestattet; für den vorliegenden Zweck empfiehlt sich aber mehr die Verwendung eines Regulierdoppelhahnes, weil man diesen an einer bequem zugänglichen Stelle der Schlauchleitung anbringen kann, während der Gasbrenner selbst für den Experimentator etwas unbequem, im Dunkeln auch nicht immer ohne Gefahr des Verbrennens oder einer unbeabsichtigten Entladung der Maschine zu erreichen ist.

Ein Regulierdoppelhahn besteht bekanntlich aus zwei Hähnen mit nach verschiedenen Seiten liegenden Griffen; die Hähne sind in eine Parallelverzweigung der Gasleitung eingeschaltet; der eine wird so gestellt, dass die Flamme nur eben noch fortbrennt, wenn der zweite Hahn geschlossen ist; durch Oeffnen und Schliessen des zweiten Hahnes lässt sich dann die Flamme rasch vergrössern und verkleinern.

[8]) Warmes würde leicht den Lacküberzug der Scheibe verderben.

[9]) Oder durch Auflegen auf eine besondere Wärmevorrichtung für elektrische Apparate; Demonstr. 2. Aufl. S. 15.



Fasern ablösen; das Hartgummiblatt kann man, ohne ihm zu schaden, ziemlich stark, nämlich bis zum Weichwerden über der Flamme des Argandbrenners erwärmen.

Die Maschine giebt in rascher Folge Funken bis zu 16 cm Länge, d. i. bis zum grössten möglichen Abstand der Conductoren; treten bei diesem grössten Abstande Ausstrahlungen an der kleinen Kugel des positiven Conductors auf, so kann man die Funkenentladung herbeiführen durch Vorhalten eines Horngummiblattes vor diese Kugel.

Ein Polwechsel kommt bei der Maschine absolut nicht vor, er lässt sich aber sofort hervorrufen, wenn man einen Holzcylinder oder noch besser beide mit einer isolierenden Glashülle versieht. Bei einer Annäherung der Conductoren auf weniger als 2 cm kommt die Maschine leicht ausser Gang, wenn man sie nicht sehr rasch dreht.

Will man im elementaren Unterricht die Maschine nicht nur als ergiebige Elektricitätsquelle benutzen, sondern ihre Wirkungsweise erklären, so kann dies unter Zuhilfenahme einer Wandtafelzeichnung, welche wie Fig. 3 nur die wesentlichsten Teile der Maschine, aber mit Angabe der Strahlungsbüschel, der Ladungen und der Stromrichtung giebt[10]), wohl etwa in folgender Weise geschehen:

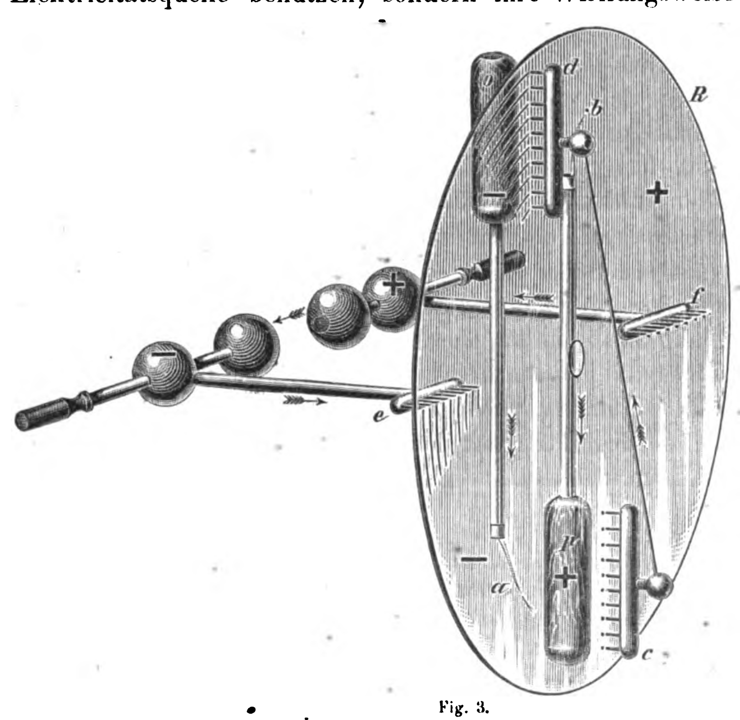


Fig. 3.

1) Die Annäherung des negativen Hartgummiblattes an die rotierende Scheibe in der Nähe von *a* bewirkt durch die Scheibe hindurch eine Verteilung in dem Kupferstreifchen, dem damit verbundenen Stanniolstreifen und dem Holzcylinder *o*; negative Elektricität wird nach *o* getrieben, positive bei *a* auf die rotierende Scheibe ausgestrahlt und von dieser mit fortgeführt.

2) Die in *o* angesammelte negative Elektricität influenziert den Kamm *d*; die negative Influenzelektricität zweiter Art fliesst ab, da der Kamm nicht isoliert ist; die positive Influenzelektricität erster Art strahlt auf die Rückseite der rotierenden Scheibe und wird von dieser mitgenommen. Die von *d* ausgestrahlte Menge positiver Elektricität ist viel grösser, als die von *a* ausgestrahlte, weil die

---

[10]) Die positiven Ausstrahlungen sind durch Striche (bei *a*, *d* und *e*), die negativen durch Punkte (bei *b*, *c* und *f*) angedeutet; die Pfeile geben die Strömungsrichtung der positiven Elektricität; die durch die Säule *S* (Fig. 1) gebildete Verbindung der Kämme *c* und *d* ist in Fig. 3 nur durch einen schrägen Strich angedeutet.



negative Elektricität von *d* ungehindert abfliessen kann, während die von *a* sich in *o* sammelt; sobald die Ladung die volle Stärke erreicht hat, kann von *a* nur soviel positive Elektricität ausgestrahlt werden, als *o* durch Ausstrahlung negative verliert.

3) Die mit positiver Elektricität bei *b* vorbeikommende Scheibe bewirkt eine ähnliche Influenz, wie das negative Hartgummiblatt bei *a*, nur natürlich mit entgegengesetzten Vorzeichen; so wird negative Elektricität ausgestrahlt, welche einen kleinen Teil der positiven Elektricität von *R* bindet bezw. neutralisiert, und positive Elektricität wird nach *p* getrieben.

4) Die nach dem Vorbeigang von *b* noch auf *R* hier vorhandene positive Elektricität (vorzugsweise auf der Rückseite von *R* sitzend), influenziert beim Vorbeigang an dem Sauger *f* diesen und den damit verbundenen Conductor; negative Elektricität wird bei *f* ausgestrahlt und positive in den Conductor getrieben, dieser also positiv geladen.

5) Die von *f* auf die Vorderseite von *R* gestrahlte negative Elektricität bindet die noch auf der Rückseite von *R* vorhandene positive[11]) u .d wird von ihr gebunden.

6) Die positive Ladung von *p* influenziert den Kamm *c* in ähnlicher, nur gerade umgekehrter Weise, wie die von *o* den Kamm *d*; negative Elektricität wird von *c* ausgestrahlt, während positive fortgetrieben wird; letztere vereinigt sich von nun an mit der von *d* abfliessenden negativen Elektricität.

7) Von *c* wird (infolge der Influenzwirkung von *p*) soviel negative Elektricität ausgestrahlt, dass nicht nur die positive Elektricität auf der Rückseite von *R* neutralisiert und dadurch die negative auf der Vorderseite frei gemacht wird, sondern dass auch auf der Rückseite von *R* sich noch negative Elektricität ansammelt. Von nun an geht der Vorgang auch nach der Entfernung des Hartgummiblattes weiter, weil jetzt die rotierende Scheibe auf beiden Seiten stark negativ geladen an *a* vorbeikommt; *a* wird fortdauernd influenziert und somit *o* immer bis zur Sättigung negativ geladen gehalten.

8) Die aus *a* ausströmende, geringe Menge positiver Elektricität neutralisiert einen kleinen Teil der auf der Vorderseite von *R* befindlichen negativen; *R* kommt noch beiderseits stark negativ geladen an den Sauger *e* und influenziert diesen und den damit verbundenen Conductor *i*; letzterer wird negativ geladen, während die aus *e* ausstrahlende positive Elektricität die auf der Vorderseite von *R* befindliche negative neutralisiert und die auf der Rückseite von *R* bindet.

9) Von nun an erfolgen bei *d*, *b* und *f* die entsprechenden Vorgänge, wie unter (7) und (8) für *c*, *a* und *e* angegeben, natürlich sämtlich mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Lässt man die Maschine im Dunkeln arbeiten, so sind die Ausstrahlungen in den für die beiden Elektricitäten charakteristischen Formen sehr gut zu sehen; besonders wenn man die Verstärkungsflaschen entfernt, damit nur schwache, nicht zu hell leuchtende Funken zwischen den Conductoren überspringen. Dass die rotierende Scheibe in der Gegend zwischen *a* und *e* negativ, in der Gegend zwischen *b* und *f* positiv ist, weist man nach durch die positiven, beziehentlich

---

11) Mehr oder weniger vollständig, je nachdem die positive Elektricität aus *l* mehr oder weniger vollkommen entfernt wird und also aus *f* mehr oder weniger negative Elektricität ausstrahlen kann.



negativen Ausstrahlungen der Influenzelektricität eines genäherten, nach der Erde abgeleiteten Körpers, entweder der Fingerspitze oder besser eines etwa 2,5 mm starken Drahtes, den man in Form einer Haarnadel biegt, an den Enden mit den Fingern fasst und mit der Biegung gegen die Scheibe hält; die negativen Ausstrahlungen sind bei Anwendung eines solchen Drahtes besser von den positiven zu unterscheiden, als bei Anwendung der Fingerspitze. Um die positiven Ausstrahlungen zu zeigen, nähere man den Drahtbügel der Scheibe nur bis auf etwa 7 cm; bei grösserer Annäherung erhält man anstatt der Büschel nur ein blaues Glimmlicht. Natürlich erhält man die Ausstrahlungen an dem Drahtbügel sowohl, wenn man diesen der Rückseite, als wenn man ihn der Vorderseite der Scheibe nähert.

Sind die Conductoren einander ziemlich nahe, so wird bei *e* und *f* viel Elektricität ausgestrahlt; die Neutralisation der Elektricität auf der Vorderseite und die Bindung auf der Rückseite von *R* sind ziemlich vollkommen und man erhält bei Annäherung des Drahtbügels an die rotierende Scheibe oberhalb *e* und unterhalb *f* keine oder nur ganz schwache Ausstrahlungen. Entfernt man die Conductoren möglichst weit von einander, so dass die in ihnen erregten Influenzelektricitäten zweiter Art sich nicht zu leicht vereinigen können und dementsprechend die Influenzelektricitäten erster Art bei *e* und *f* in etwas beschränkter Menge ausgestrahlt werden, so ist die Neutralisation und Bindung auf der rotierenden Scheibe nur unvollkommen; man erhält dann bei Annäherung des Drahtbügels über *e* positive, unter *f* negative Ausstrahlungen am Bügel, und die Ausstrahlungen bei *d* und *c* werden stärker, als bei geringem Abstande der Conductoren. Setzt man bei weit von einander entfernten Conductoren die Verstärkungsflaschen *m* und *n* an ihre Stelle, so sieht man unmittelbar nach jeder Entladung, also wenn die Influenzelektricitäten zweiter Art leicht in die Flaschen abfliessen, an *c* und *d* nur mässige Ausstrahlungen, die sich in dem Maasse vergrössern, wie die zunehmende Ladung der Flaschen den Abfluss der Influenzelektricitäten zweiter Art und also auch die Ausstrahlung der Influenzelektricitäten erster Art bei *e* und *f* erschwert und demgemäss die Neutralisation und Bindung der Elektricitäten auf der rotierenden Scheibe unvollkommen macht.[12])

Der Foucault'sche Pendelversuch.[1])

Von

M. Koppe in Berlin.

Wie **Foucault's** Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichts, so gehört meist auch sein Nachweis der Rotation der Erde zu den Versuchen, welche im Unterricht nur historisch behandelt werden. Es scheint die Ansicht weit verbreitet, dass zur sicheren Anstellung des Pendelversuchs entweder so ausserordentliche Dimensionen notwendig sind, wie sie bei dem berühmten auf Wunsch des Prinzen Louis Napoleon im Pantheon angestellten Versuche angewandt wurden, wo an

---

[12]) Die mechanische Werkstatt von G. Lorenz in Chemnitz liefert die Maschine in der in Fig. 1 im Maassstab 1 : 5 dargestellten Grösse (Scheibendurchmesser 45 cm) zum Preise von 115 Mark.

[1]) Vorgetragen im Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts zu Berlin am 28. März 1887.



einem 67 m langen Drahte eine Kugel von 28 kg pendelte, oder dass man bei mässiger Länge, d. h. 3—4 m, einer besonders künstlichen und daher kostspieligen Cardanischen Aufhängung mittelst zweier in einem Punkte sich rechtwinklig kreuzender Schneiden nicht entraten könne.

Bei dem von Martus in seiner ‚Astronomischen Geographie' beschriebenen Pendel der Königstädtischen Realschule in Berlin sind beide Vorzüge vereinigt, es bleibt 7 Stunden lang in gradlinigem Gange, während welcher Zeit sich die Schwingungsebene um 90° dreht. Die Kosten dieser Einrichtung sind indessen sehr beträchtlich. Die Weinhold'sche Aufhängung *(Demonstr. 1. Aufl., S. 98)*, deren Preis geringer, aber noch immer nicht unerheblich ist, setzt mässige Höhe voraus, bewahrt jedoch das Pendel durchaus nicht vor elliptischem Gange. Das von Schuller *(Wied. Ann. XIX, 1883)* beschriebene Pendel von 1 bis 2 m Länge hat eine Cardanische Aufhängung, welche durch ein Laufgewicht an der mitschwingenden Schneide so zu regulieren ist, dass die Schwingungsdauer für die beiden Haupt-Schwingungsrichtungen, mithin auch für alle Nebenrichtungen, genau gleich wird. Dies ist erreicht, wenn das Pendel bei einer mittleren Schwingungsrichtung kein Bestreben zeigt, in elliptische sich erweiternde Bahnen überzugehen, wie solche bei dem Lissajous'schen Versuch mit zwei nahezu gleich gestimmten Stimmgabeln auftreten. Die erwähnte Correktion ist bei kurzen Pendeln unerlässlich wegen der folgenden mit dem Auftreten elliptischer Schwingungen verbundenen sekundären Erscheinung. Ein Pendel kann nur unendlich kleine Schwingungen dauernd in einer unveränderten Ellipse ausführen, bei grösserer Schwingungsweite bewirkt die dann merkliche Abweichung der wirksamen Kraft von einer genau der Entfernung proportionalen Centralkraft eine Störung, derzufolge die Axe der Ellipse sich in derselben Richtung dreht, in welcher das Pendel ihren Umfang durchläuft. Diese Drehung würde die aus der Erdrotation resultierende verdecken.

Die Cardanische Aufhängung scheint zuerst von Garthe 1852 bei den durch Genauigkeit ausgezeichneten Versuchen im Cölner Dom angewandt zu sein. Gauss ersetzte 1853 die Zapfen des Cardanischen Gelenkes durch Schneiden. Der Versuch, durch welchen Foucault sich zuerst 1851 von der Richtigkeit seiner Spekulation überzeugte, ist dagegen ohne künstliche Aufhängung mit einem 2 m langen Pendel und einer 5 kg schweren Kugel angestellt worden. Auch bei den ersten Wiederholungen in anderen Breiten wurden mässige Längen angewandt, z. B. in Rio de Janeiro eine solche von 4 m. Die Unvollkommenheit so kurzer Pendel tritt allerdings darin hervor, dass manche Beobachter eine geringe Abhängigkeit der Drehungsgeschwindigkeit vom Azimut zu finden glaubten, die sich als irrig erwies. Immerhin waren aber die Abweichungen vom normalen Gange so geringfüg, dass die Brauchbarkeit solcher Versuchsanordnungen für Demonstrationszwecke nicht in Frage gestellt wird.

Frick *(Physik. Technik)* hält eine Länge von 6 m für erforderlich und benutzt zur Aufhängung einen an der Decke befestigten Haken, dessen unterer wagerechter Teil entweder eine feine Oeffnung zur Hindurchführung des um den Schaft gewickelten Drahtes enthält, oder aber einen ringförmigen Bügel trägt, an den sich der Draht anschliesst. In letzterem Falle hat der aufliegende Teil des Bügels eine harte Stahlspitze, zu deren Aufnahme der Haken mit einer pfannenartigen Aushöhlung versehen ist. Da der Ring nach verschiedenen Schwingungsrichtungen ein verschiedenes Trägheitsmoment zu dem des Pendels beiträgt, so ist hier die oben erwähnte Lissajous'sche Erscheinung nicht eliminiert. Ausserdem wird ein



in einen Balken geschraubter Haken an seinem freien Ende gegen äussere Kräfte ziemlich nachgiebig sein und zwar nicht nach allen Seiten in gleichem Maasse, da der eingeschraubte Teil in der Richtung der Fasern des Balkens grössere Beweglichkeit hat als quer dazu. Die Schwingungsdauer des Pendels wird daher aus der Länge des freien Fadens und der Einwirkung der Schwerkraft nicht genau gefunden, es müssen noch die elastischen Kräfte in Betracht gezogen werden, die den nach der Seite gebogenen Haken in seine natürliche Lage zurücktreiben. Es wird dadurch eine von der Schwingungsrichtung abhängige Schwingungsdauer und somit wieder die Störung durch die Erscheinungen des Doppelpendels eingeführt.

Eine grössere und nach allen Richtungen gleichmässige Festigkeit erzielt man durch die folgende Vorrichtung, welche der Form des ersten Foucault'schen Versuches sehr nahe kommt. Eine quadratische Broneeplatte von etwa 4 cm Seite und 3 mm Dicke wird in der Mitte mit einer feinen Durchbohrung versehen, die sich oben konisch erweitert. Durch diese geht der von der Pendelkugel kommende, 0,5 mm dicke Eisendraht hindurch, der oberhalb in eine Messingkugel von 1 cm Durchmesser eingelötet ist. An den vier Ecken ist die Platte durchbohrt, um sie von unten gegen einen an der Decke des Zimmers befindlichen Balken festzuschrauben, in dem sich eine Aushöhlung als Spielraum für die Messingkugel befindet. Ein so aufgehängtes Pendel hatte bis zur Mitte der 5,5 kg schweren Bleikugel eine Länge von 3,674 m. In die Kugel lässt sich unten eine Messingspitze, oben eine Messinghülse einschrauben. Letztere wird mit der oberen feinen Oeffnung voran auf den Draht hinaufgeschoben und das untere Ende desselben um ein kurzes Stück Kupferdraht gewickelt, der nach Zusammenbiegung seiner beiden Hälften in dem unteren weiteren Teile der wieder herabgelassenen Hülse Platz findet.

Die Pendelkugel wird, nachdem die langsamen drehenden Schwingungen unmerklich geworden sind, mittelst eines ihren Umfang schleifenförmig umfassenden Bindfadens gegen eine 1,3 m entfernte Wand um 2 dm senkrecht herangezogen. Auf der andern Seite des Pendels steht, 3 m von ihm entfernt, ein Tisch, an dessen der Wand parallelem Rande eine Petroleumlampe mit rundem Fuss und axialer Flamme um genau messbare Grössen verschoben werden kann. Diese wirft von dem Pendelfaden auf eine an der Wand angebrachte horizontale Skala einen breiten Schatten, der als Bild der Flamme aufzufassen ist, und dessen scharfe Ränder sehr deutlich erkennen lassen, ob das Pendel vor Beginn des Versuchs völlig ruhig hängt. Die Lampe stehe anfangs in der durch den Pendelfaden zu legenden Vertikalebene, die auch zu der Wand senkrecht ist. Macht man das Pendel frei, indem man den Bindfaden durchbrennt, so scheint während der ersten Schwingung die Mittellinie des Schattens festzustehen, während seine Ränder sich gleichmässig erweitern, um sich bei der zweiten Schwingung wieder zusammenzuziehen. Sehr bald verschwindet die Symmetrie und der Schatten schwingt als Ganzes hin und her. Man kann ihn jedoch wieder zum Stillstand bringen, wenn man die Lampe um eine gewisse Strecke verschiebt, die etwa so viel cm beträgt, als Minuten verflossen sind. Diese Strecke stellt die Tangente des Drehungswinkels für einen Radius von 3 m dar. Aus zwei Versuchen, die eine Zeitdauer von 19^m und $1^h\,4^m$ hatten, ergab sich die stündliche Drehung resp. gleich $12^\circ\,16'$ und $12^\circ\,51'$, statt des theoretischen Wertes $15^\circ . \sin\varphi = 11^\circ\,54'$ für die Breite von Berlin.

Man kann die Drehung noch einfacher erkennen, aber nicht so genau messen, durch Beobachtung des Schattens, den die feststehende Lampe von der



Spitze der schwingenden Pendelkugel auf den Fussboden wirft. Zum Auffangen desselben benutzt man eine Kreisscheibe von 5 dm Durchmesser, auf welcher Radien in 12° Abstand sowie concentrische Kreise in 1 cm Abstand gezeichnet sind, und legt dieselbe so, dass bei der Ruhelage des Pendels der Schatten der Spitze auf das Centrum fällt. Die Kreise liessen erkennen, dass in einer Stunde die halbe Schwingungsweite von 20 cm auf 16 cm sank, die entstandene Ellipticität war hier kaum merklich.

Es sei hier eingeschaltet, dass das beschriebene Pendel (dessen Herstellungskosten etwa 12 Mk. betrugen), sich auch zu anderen Versuchen brauchbar erweist. Zunächst zur Ermittelung von g. Um die Schwingungsdauer zu bestimmen, wurde ein kleines Fernrohr auf die Gleichgewichtslage des Pendelfadens eingestellt, das Pendel quer zur Blicklinie in kleine Schwingungen versetzt, und dann von einem Beobachter etwa 5 Minuten lang jeder zehnte Durchgang durch die Mitte des Gesichtsfeldes mittelst eines hörbaren Zeichens markiert, dessen Zeitpunkt (a) von einem zweiten Beobachter nach Sekunden notiert wurde. Ist x die Zeit des ersten Durchganges, y die Dauer von 10 Schwingungen, so hat man die Gleichungen

$$x + y = a_1, \; x + 2y = a_2, \; \ldots \; x + ny = a_n$$

denen am genauesten durch diejenigen Werte x, y genügt wird, welche

$$(x + y - a_1)^2 + (x + 2y - a_2)^2 + \cdots + (x + ny - a_n)^2$$

zu einem Minimum machen. Diese folgen aus den Gleichungen:

$$nx + \frac{n(n+1)}{2} y = a_1 + a_2 + \cdots + a_n,$$

$$\frac{n(n+1)}{2} x + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} y = a_1 + 2a_2 + \cdots + na_n.$$

Es ergiebt sich

$$y = \frac{(n-1)(a_n - a_1) + (n-3)(a_{n-1} - a_2) + (n-5)(a_{n-2} - a_3) + \cdots}{(n-1)^2 + (n-3)^2 + (n-5)^2 + \cdots}.$$

So fand man, dass die Dauer von 90 Schwingungen = 173,00 Sekunden war, und hieraus mittelst der oben angeführten Länge l des Pendels $g = \pi^2 l/t^2 = 9{,}813$ m. Da die Pendelkugel den Radius $r = 5$ cm hat, so müsste die Länge noch um $\frac{2}{5} . r^2/l$, d. h. etwa $\frac{1}{3}$ mm, vergrössert werden, doch beeinflusst diese Correktion erst die dritte Decimalstelle um eine Einheit und kann daher unterbleiben.

Ferner lässt sich dieses Pendel bei der Ableitung der Pendelformel verwerten, um den Deduktionen durch Anschauung grössere Klarheit zu verleihen. Die Kraft, welche auf eine um die Strecke d aus der Gleichgewichtslage gezogene Pendelkugel wirkt, ist gleich dem Gewicht, welches die Masse derselben auf einem fingierten Planeten von der Schwere-Beschleunigung $g \cdot d/l$ haben würde. Diese bei kleinen Pendeln sehr geringe Kraft kann hier schon dadurch nachgewiesen werden, dass man die Kugel erst durch einen einfachen, dann durch einen doppelten Faden soweit zur Seite zieht, bis dieser reisst. Die Ausweichungen, bei denen dies geschieht, werden durch den Schatten auf der Kreisscheibe gemessen und verhalten sich wie 1 : 2. Um die Grösse der Kraft für jeden Abstand genau zu bestimmen, übt man den Zug durch einen stärkeren Faden aus, in welchen eine Federwage oder ein Dynamometer eingeschaltet ist.

Endlich kann man ein Stück des Pendelfadens (von der Kugel bis zu einer mit zwei Fingern gefassten Stelle) so abgrenzen, dass es mit dem Violinbogen gestrichen einen vorgeschriebenen Ton giebt, und kann dann einfacher als mit dem

Monochord die Richtigkeit der Formel für die Schwingungszahl einer Saite erproben. —

Wir kehren nach dieser Abschweifung zu der Behandlung des Foucault'schen Pendelversuchs zurück. Da das von Foucault durch eine scharfsinnige Hypothese errathene Gesetz über das Verhalten des Pendels in verschiedenen Breiten theoretisch nur durch eine Reihe schwieriger Schlüsse abgeleitet werden kann, so scheint es angemessen, dasselbe im Unterricht experimentell zu verifizieren. Das bekannte auf die Schwungmaschine zu setzende Pendelgestell gestattet nur, die Erscheinung für den Pol nachzuahmen. Dagegen ist ein von Eisenlohr angegebener Apparat für die allgemeine Darstellung des Gesetzes geeignet. Da derselbe wenig verbreitet zu sein scheint, so folge hier eine Beschreibung (Fig. 1).

In einem mit Gradteilung versehenen festen Messingring von mindestens 4 dm Durchmesser, 1 cm radialer Breite, 3 mm Dicke, z. B. dem Meridianring eines Globus, werde als Durchmesser ein elastischer Faden ausgespannt, und bei der Befestigung Sorge getragen, seine natürliche Struktur an den Enden möglichst wenig zu ändern. Der Faden muss, nach beliebiger Richtung aus seiner Gleichgewichtslage gezogen, dauernd in einer Ebene schwingen. Es eignen sich hierzu vierkantige Gummifäden, deren Enden gegen die Fläche des Ringes durch anzuschraubende Messingplatten fest angepresst werden, ferner dünne starkwandige Gummischläuche, die man stark gespannt durch radial gebohrte cylindrische Löcher führt und aussen befestigt, endlich am besten — wegen ihrer lange andauernden Schwingungen — dünne Messingspiralen, welche so weit ausgezogen sind, dass ihre Windungen beim Schwingen nicht mehr aneinander schlagen. Man befestigt sie mit Hilfe kurzer cylindrischer Messingzapfen, die man in die äussersten Windungen unter möglichst localer Erwärmung einlöthet. Als Träger dienen zwei Schieber, welche sich auf dem Messingringe verstellen lassen. Auf die Mitte der Spirale kann eine Messingkugel geschoben werden, um die Aehnlichkeit mit einem Pendel auch äusserlich hervortreten zu lassen.

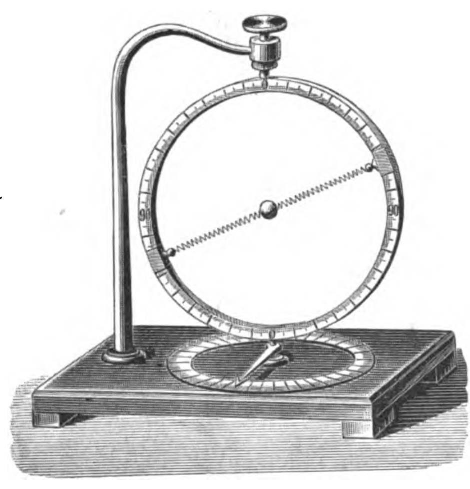


Fig. 1.

Der Messingring wird noch mit einer Vorrichtung versehen, welche gestattet, ihn leicht um einen beliebigen Durchmesser als vertikale Axe zu drehen und den Betrag der Drehung auf einer horizontalen Kreisteilung durch einen sich mitdrehenden Zeigerarm zu messen.

Fällt der von der Spirale eingenommene Durchmesser mit der Drehungs-Axe des Ringes zusammen, so wird, nachdem die Spirale in Schwingungen versetzt ist, ihre durch die Fortdauer des Gesichtseindrucks verkörperte Schwingungsebene bei beliebigen Drehungen des Ringes absolut fest in ihrer ursprünglichen Richtung gegen die Wände des Zimmers verharren.

Wird die Spirale in den zur Drehungsaxe senkrechten Durchmesser gestellt, so bleibt die Schwingungsebene fest in Bezug auf den Messingrahmen, was besonders scharf zu beobachten ist, wenn sie mit seiner Ebene zusammenfällt oder darauf senkrecht steht. In letzterem Falle erweckt die mit dem Ringe rotierende

Spirale im Auge den Eindruck der getrennten Speichen eines horizontal stehenden Rades.

Giebt man der Spirale eine Neigung von 30° gegen den Horizont, während die Drehungsaxe wie immer senkrecht steht, so bewirkt eine Drehung des Ringes um 180°, dass die anfangs in seiner Ebene schwingende Spirale ihre Schwingungsebene senkrecht zu der Ebene des Ringes stellt. Denn es ist hier das Verhältnis der relativen Drehungsgeschwindigkeit der Schwingungsebene zu der absoluten des Rahmens = sin 30° = $^1/_2$. Es ist leicht zu sehen, dass der Apparat auch für andere Breiten die genaue Messung des dort weniger einfachen Verhältnisses gestattet.

Es ist übrigens nicht nötig, dass die Drehung des Rahmens gleichmässig erfolgt. Immer wenn er um gleiche Winkel in positivem und negativem Sinne gedreht, also in seine alte Lage zurückgekommen ist, hat auch die Schwingungsebene ihre alte Lage, sowohl relativ als absolut, wieder angenommen.

Noch auf eine zweite Art, nämlich mittelst steifer elastischer Stäbe, lässt sich der Foucault'sche Versuch im Kleinen nachbilden. Foucault selbst giebt an, dass die zufällige Beobachtung eines schwingenden runden Stahlstabes, der an einer rotierenden Welle in Richtung ihrer Axe befestigt war, ihm die erste Anregung zu seinem Versuche gegeben habe.

Man klemme eine Stricknadel mit dem einen Ende zwischen eine Tischplatte und ein gegen diese gedrücktes glattes Holzstück und setze ihr freies Ende in Schwingungen, die in ergiebigem Maasse nur in vertikaler Richtung hervorzubringen sind. Bewegt man nun das Holzstück unter Druck längs des Tisches hin, so dass die Stricknadel sich sehr oft um ihre Axe dreht, so bleibt die Schwingungsebene unverändert vertikal.

Um diesen Versuch zu vervollkommnen, befestige man die Stricknadel in der Axe eines cylindrischen Holzstückes, indem man sie, ohne ein Loch vorzubohren, zwischen die Fasern hineinzudrängen sucht. Man erreicht dadurch am leichtesten, dass sie nach jeder Richtung ebener Schwingungen fähig ist. Rollt man nun den Holzcylinder unter Druck über einen Tisch hin, so bleibt die Schwingungsrichtung der Nadel unverändert in derselben absoluten Richtung.

Man befestige endlich den genannten Holzcylinder in einem Schraubstock, dessen oberer Teil sich durch Drehung um eine vertikale Axe gegen den unteren verstellen lässt. Bildet die Stricknadel mit dem Horizont einen Winkel von $52^1/_2°$ gleich der Breite von Berlin, so bewirkt eine Drehung des Schraubstocks um $^5/_4$ Rechte, dass die Schwingungsebene eine Viertel-Drehung um die Axe des sie haltenden Cylinders ausführt.

Wir wenden uns nun zur Theorie des Foucault'schen Pendels. Befindet sich dasselbe am Pol, so könnte sein Aufhängepunkt durch ein Uhrwerk so gedreht werden, dass er an der täglichen Rotation der Erde nicht teilnimmt. Ein solches Pendel würde, durch einen Stoss aus der Gleichgewichtslage in Bewegung gesetzt, in einer gegen den Weltenraum festen, stets durch dieselbe Sterne hindurchgehenden Ebene schwingen. Die relative Bahn[2]) ist eine schleifenförmige Curve von beistehender Gestalt, welche für ein Pendel von $2^{sec.}$ Schwingungsdauer mehr als 5000 Schleifen auf einen Quadranten enthält. Denkt man sich jede von diesen auf ihre Mittellinie reduziert, so beschreibt das Pendel eine Reihe von Ebenen, die sämmtlich in der

[2]) Herschel, outlines of astronomy, art. 245.

Gleichgewichtslage entspringen, so dass sich bei jedem Durchgange durch dieselbe die Schwingungsrichtung plötzlich ändert. Spricht man von der Drehung der Pendelebene, so liegt diese Voraussetzung zu Grunde. Dadurch dass nun aber der Aufhängepunkt in Wirklichkeit an der Rotation der Erde teilnimmt, überträgt sich schon in der Ruhelage die Winkelgeschwindigkeit der Erde auf die Pendelkugel. Ein Pendel mit rotierender Kugel, sog. gyroskopisches Pendel, dreht aber schon an sich die Pendelebene im Sinne seiner Winkelgeschwindigkeit (ϑ), und zwar in 1$^{sec.}$ um $1/_5 . r^2\vartheta/l^2$, wenn r der Radius der Kugel, l die Pendellänge ist[3]). Seine Bahn hat daher[4]) die Gestalt der Figur 2. Hierdurch wird die scheinbare Drehung der Pendelebene am Pol um den Bruchteil $1/_5 . r^2/l$ vermindert, der allerdings bei der gewöhnlichen Form des Pendels wenig erheblich ist. Um die sehr auffälligen Bahnen eines gyroskopischen Pendels zu zeigen, kann man einen mit Meridianring versehenen Globus benutzen. Der Ring wird an dem Pendelfaden befestigt und erst frei gelassen, nachdem man den in ihm schwebenden Globus in schnelle Rotation versetzt hat.

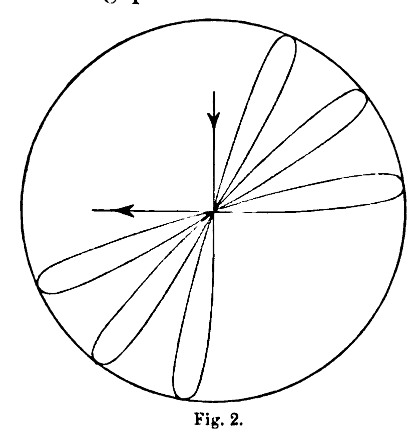


Fig. 2.

Für den Aequator ist umgekehrt die relative Bahn des Pendels einfacher als die absolute. Dass dort eine von Westen nach Osten gehende Schwingungsrichtung sich erhalten muss, ist selbstverständlich, in der That besteht der einzige Einfluss der Erdrotation auf eine solche nur darin, die Schwingung nach Westen zu beschleunigen, die nach Osten zu verlangsamen. Für die Schwingungsrichtung von Norden nach Süden ergiebt sich die Unveränderlichkeit, wenn man annimmt, dass die Rotation der Erde um eine durch den Mittelpunkt der ruhenden Pendelkugel zur Erdaxe gezogene Parallele erfolgt, da sich dann die kleinen Schwingungen der Kugel in einer absolut festen Geraden vollzögen. Für andere Azimute ist das Resultat durch Analogie wahrscheinlich, ein strenger Beweis scheint nicht möglich ohne Benutzung der von Coriolis eingeführten fingierten Kraft, welche die Wirkung der Erdrotation auf die Bewegung eines Körpers ebenso darstellt wie die Centrifugalkraft ihre Wirkung auf das Gleichgewicht. Für eine beliebige geographische Breite kann die Pendelebene nicht wie am Pol absolut fest bleiben, da sie immer durch die Vertikale des Ortes geht, und diese während jeder Umdrehung der Erde einen Kegel beschreibt. Foucault machte nun die Annahme, dass die Schwingungsebene von einem Augenblick zum andern ihre Lage um einen möglichst kleinen Winkel so änderte, dass es ihr möglich würde die neue Vertikale in sich aufzunehmen. Es sei M der Mittelpunkt der Erde, A ein Punkt ihrer Oberfläche in der Breite φ oder genauer die Gleichgewichtslage einer dort aufgehängten Pendelkugel, welche von A bis A' schwinge, der Punkt A gelange durch die Erdrotation in 1 Minute nach B, und das Pendel schwinge dort von B bis B'. Dann muss nach der obigen Annahme die neue Pendelebene MBB' senkrecht auf derjenigen Ebene stehen, in welcher der Neigungswinkel von MB gegen die ursprüngliche Pendelebene MAA' gemessen wird. Die Richtungen AA' und BB' stehen auf der

[3]) Hansen, Theorie der Pendelbewegung, Danzig 1853, pag. 36. — H. Samter, das Gauss'sche Pendel, Greifswald 1886, pag. 49.

[4]) Thomson & Tait, Theoret. Physik, § 74 u. 94.



genannten Neigungsebene der beiden Pendelebenen senkrecht, sind also parallel. Schneiden sich die in A und B an die Erdmeridiane gezogenen Tangenten auf der verlängerten Erdaxe in X, so bildet die Pendelebene mit der Richtung der Mittagslinie anfangs den Winkel XAA', nach 1 Minute den Winkel XBB', sie scheint sich also um $XAA' - XBB' = AXB = 15' . \sin\varphi$ zu drehen.

Denkt man sich statt der rotierenden Erdoberfläche einen Kegelmantel, der sie längs des Parallelkreises des Beobachtungsortes berührt, so verschiebt sich die Umgebung des Ortes während einer kurzen Zeit nicht parallel, sondern so als ob sie um die Spitze des Kegels in $1^{sec.}$ um $15'' . \sin\varphi$ in ihrer Ebene gedreht würde. Gleichzeitig findet aber noch ein Herumkippen um die Seite des Kegels statt. Man erhält auch auf diese Weise[5]) das Foucault'sche Gesetz, wenn man die zweite Bewegung als wirkungslos ansieht.

Man kann ferner die Drehung der Pendelebene an einem beliebigen Orte zu der scheinbaren Drehung des Himmelsgewölbes in Beziehung setzen. Ein Stern am Nordpunkt des Horizonts und in geringer Höhe beschreibt scheinbar in $1^{sec.}$ den Bogen $15'' . \sin\varphi$, ein Stern im Zenit den Bogen $15'' . \cos\varphi$. Erteilt man dem ganzen Himmelsgewölbe die Drehungen $15'' . \sin\varphi$ um die Vertikale und $15'' . \cos\varphi$ um die Mittagslinie des Ortes, oder um eine durch den Mittelpunkt der Erde gezogene Parallele, so kommen nicht nur die beiden genannten Sterne dadurch in eben solche Lagen wie durch die scheinbare Drehung des Himmelsgewölbes um die Weltaxe, sondern dies gilt auch für jeden beliebigen andern Stern, da seine Lage durch die unveränderlichen Abstände von den beiden genannten zugleich mit bestimmt ist. Man kann daher die Erscheinung der täglichen Rotation um den Pol auch als das beständige Zusammenwirken zweier um das Zenit und den Nordpunkt erfolgender Rotationen auffassen, diese lassen sich endlich auch bei feststehendem Himmelsgewölbe als Drehung der Erde um zwei von ihrem Mittelpunkt nach den genannten Punkten hin gehende Axen deuten. Für die erste Drehung um die Vertikale mit der Geschwindigkeit $15'' . \sin\varphi$ verhält sich das Pendel wie ein am Pol aufgehängtes, für die zweite wie ein solches am Aequator. Dies führt zu der Folgerung[6]), dass wenn die Pendelebene durch einen gerade auf- oder bald untergehenden Fixstern hindurchgeht, sie diesen zu enthalten fortfährt, so lange seine Höhe gering ist. Auch wenn man ein Pendel in Richtung der gerade aufgehenden Sonne in Bewegung setzt, wird der Schatten des Pendelfadens nahezu eine gleichmässig fortschreitende, keine schwingende Bewegung zeigen.

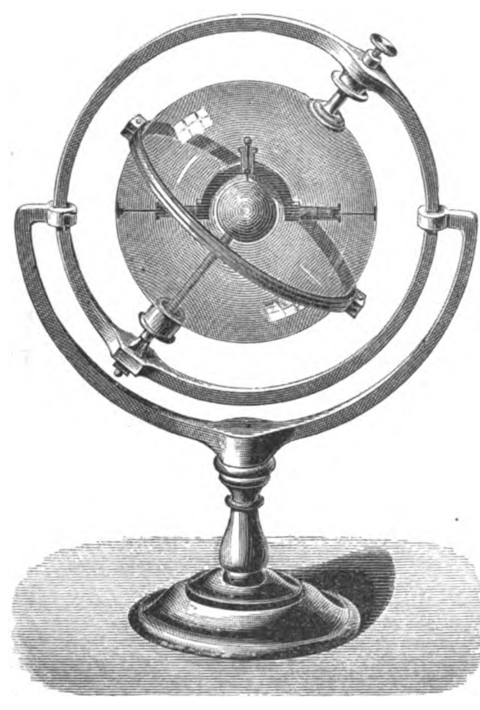
Diese rein kinematische Auffassung des Foucault'schen Versuches führt zur Construktion eines Apparates, welcher die Drehung der Pendelebene für eine beliebige Breite mittelst einer nach demselben Gesetz sich drehenden starren Ebene versinnlicht. (Fig. 3). Zwei grosse halbkugelförmige Schalen aus Glas seien an ihrem äusseren Rande mit einer ringförmigen Fassung versehen, durch die sie als nördliche und südliche Halbkugel zu einem Himmelsglobus fest vereinigt werden können. Um den letzteren in gewöhnlicher Weise in einem Meridianring drehbar zu befestigen, sei an dem Nordpol direkt ein Zapfen als Axe befestigt, dagegen habe die andere Halbkugel am Südpol eine kleine Öffnung, auf welcher eine Buchse aufsitzt. Erst in letzterer stecke die mit dem Meridianring fest zu verbindende Axe, so dass der Himmelsglobus sich um sie drehen, aber nicht auf

---

[5]) Herschel, outlines, art. 245.

[6]) Maxwell, matter and motion, art. 106.

ihr gleiten kann. Diese Axe erstreckt sich bis in die Mitte des Himmelsglobus und trägt dort eine kleine nicht drehbare Kugel, welche die Erde darstellt. Es ist jetzt möglich, den Himmelsglobus, dessen Axe nach dem Polarstern zeige, in richtiger Weise um die Erdkugel zu drehen, deren höchster Punkt dem Beobachtungsort entspricht. Um nun die Drehung der Pendel-Ebene zu zeigen, wird die Vertikale des Beobachtungsortes durch eine in dem Erdglobus befestigte lange Nadel dargestellt, deren hervorragender Teil von einer Hülse umschlossen ist, die sich um die Nadel leicht drehen, in vertikalem Sinne aber nicht verschieben lässt. Diese Hülse bildet die Mitte eines halbkreisförmigen, der Erdkugel concentrischen Bügels, der die Pendel-Ebene darstellen soll. Von den beiden Endpunkten des Bügels gehen zwei geradlinige Ausläufer in radialer Richtung nach der gläsernen Kugel, und zwar ist jeder von ihnen derartig unterbrochen, dass sein äusserer Teil durch eine Spiralfeder von dem inneren weggedrängt, also gegen die äussere Kugel gedrückt wird. Dabei muss der äussere Teil, um nicht die Richtung des Durchmessers zu verlieren, in dem inneren eine Führung haben. Durch den Druck der beiden Arme des Bügels gegen die grosse Kugel soll bewirkt werden, dass derselbe in Folge der Reibung von dem sich drehenden Himmelsglobus mitgenommen wird, in soweit er die gehörige Bewegungsfreiheit besitzt. Er wird daher der Drehungscomponente um die vertikale Axe frei folgen, der anderen nicht. Um die Reibung, insoweit sie nutzlos ist, möglichst gering zu machen, kann man statt einfacher Druckknöpfe an den Enden der Bügelarme kleine Rollen anbringen, deren Axen horizontal bleiben. Ähnliche Apparate sind schon mehrfach construiert worden, von Wheatstone, Silvestre *(Comptes Rendus, t. 33, 1851)*, Sire (*Liouville, Journal, 3. série, t. 7, 1881*). Der oben beschriebene würde sich dadurch von ihnen unterscheiden, dass er nicht nur das Gesetz des Sinus zu versinnlichen, sondern auch die Ableitung desselben zu erläutern gestattet.


Fig. 3.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass wenn man die Lage der Erdaxe und die Umdrehungszeit aus Pendelversuchen allein bestimmen wollte, drei an verschiedenen Orten angestellte Versuche ausreichen würden. Trägt man vom Mittelpunkt der Erde aus auf jedem der zugehörigen drei Erdradien eine Strecke ab, die gleich der Zeit ist, in welcher die Pendelebene an dem Orte eine volle Umdrehung macht, so giebt die durch die Endpunkte der drei Strecken gelegte Ebene die Richtung des Erdäquators an, das auf sie vom Mittelpunkt gefällte Lot die Zeit, in welcher die Erde sich um ihre Axe dreht.

Ein Demonstrationsthermometer.

Von

Dr. **Friedrich C. G. Müller** in Brandenburg a. H.

Das allbekannte Quecksilberthermometer ist trotz seiner Einfachheit und Wohlfeilheit für Unterrichtszwecke fast unbrauchbar, weil seine Angaben aus der Entfernung nicht sichtbar sind. Dies rührt von der weissen Farbe und dem Spiegelglanze des Quecksilberfadens her. Es hat nun aber keinen Wert, im Unterricht Versuche anzustellen, welche die Schüler nicht verfolgen können, und wobei nur der Lehrer die Ablesungen vornimmt. Denn es ist nicht Aufgabe des Schulversuchs, die Richtigkeit allbekannter Thatsachen endgültig ausser Zweifel zu stellen, sein Zweck ist vielmehr der, die Schüler in den Stand zu setzen, die Naturerscheinungen und deren Gesetzmässigkeit aus eigener Wahrnehmung zu erkennen. Ein derartiges Experiment erfüllt erstens die pädagogische Aufgabe, den Sinn für eine klare Beobachtung und Auffassung realer Dinge und Vorgänge zu wecken und zu üben, zweitens gewinnt es dadurch einen grossen didaktischen Wert, weil die aus eigener Anschauung gewonnenen Kenntnisse aus nahe liegenden Gründen sicherer haften, als wenn sie durch das gesprochene oder geschriebene Wort übermittelt sind.

Demnach ist das erste und selbstverständliche Erfordernis eines guten Schulapparats, dass sein Bau und seine Angaben von normalen Augen in 6 m Entfernung deutlich erkannt werden können. Was man ausserdem noch von ihm verlangen muss, habe ich anderwärts eingehender entwickelt. Es ist nun auffallend, dass bislang so wenig Vorschläge laut geworden sind, ein so grundlegendes und bei so vielen Versuchen im chemischen und physikalischen Unterrichte unentbehrliches Instrument, wie das Thermometer, in eine zu Demonstrationen geeignete Form zu bringen. Vielleicht haben sich viele Lehrer mit einfachen improvisierten Vorrichtungen beholfen, ohne damit an die Öffentlichkeit zu treten.

In Bezug auf die Construktion eines Unterrichtsthermometers steht von vorn herein der Gesichtspunkt fest, dass man nur im Falle zwingender Notwendigkeit von dem einfachen Prinzip des gewöhnlichen Quecksilberthermometers abgehen darf. Ferner muss es, wie dieses, die Form eines dünnen Stabes haben, um bequem in Flaschen eingeführt werden zu können, schliesslich muss es für ätzende Flüssigkeiten unangreifbar sein. Es handelt sich mit andern Worten wesentlich nur um die Auffindung einer anderen Flüssigkeit an Stelle des Quecksilbers. Als solche verwende ich seit Jahren schwarz gefärbte concentrierte Schwefelsäure. Schwefelsäure gestattet wegen ihres hohen Siede- und tiefen Erstarrungspunkts den Thermometerskalen denselben Umfang zu geben, wie beim Quecksilber. Wie dieses dehnt sie sich regelmässig aus und hat überdies den Vorzug eines $3^1/_2$ mal grösseren Ausdehnungscoefficienten. Die Schwarzfärbung kann man mit Indigo bewirken; auch wenn man die Säure mit Holzkohlestückchen erhitzt, erhält sie hinreichend dunkle Färbung. Das einfachste Färbemittel indessen ist der Zucker. Man erhitzt etwa 20 g Säure mit einer Messerspitze gepulverten Zuckers fast zum Sieden.

rot

grün

rot

grün

rot

Fig. 1.



Durch Aufsaugen in ein Röhrchen von etwa 1 mm lumen überzeugt man sich, ob die Färbung intensiv genug ist. Falls sie zu dunkel ist, d. h. wenn das Röhrchen nach dem Entleeren durch die adhärierende Säure noch deutlich grau erscheint, muss man reine Säure hinzumischen.

Die Länge des ganzen Instruments ist 500 mm; seine Form, sowie die von mir als zweckmässig befundene Abmessungen sind aus den Figuren 1 bis 3 leicht erkennbar. Fig. 1 giebt eine Gesammtansicht in $^1/_4$ der natürlichen Grösse. Fig. 2 stellt das untere Ende des Thermometers in natürlicher Grösse dar; die eingeschriebenen Zahlen geben die lichte Weite in Millimetern. Hinzuzufügen ist noch, dass die Weite des Thermometerrohres 0,75 mm beträgt. Der Glasbläser hat auf die Verschmelzung des Skalenrohrs mit dem Gefäss besondere Sorgfalt zu verwenden, weil sonst bei Temperaturwechsel hier leicht ein Sprung entsteht.[1])

Zum Zweck der Füllung, welche ich bislang selbst ausgeführt habe, lässt man das Thermometerrohr so lang machen, dass es etwa 30 mm aus dem Skalenrohr hervorragt. Mittels eines durchbohrten Korks verbindet man dieses Ende mit einem Glasrohrstück von etwa 10 mm Durchmesser und 40 mm Länge. In letzteres kommt zuerst Wasser, von dem man in bekannter Weise durch Anwärmen und Abkühlen etwas in das Thermometergefäss bringt. Nach Beseitigung des nicht eingedrungenen Wassers stellt man das Thermometer auf ein geheiztes Sandbad. Sobald alles Wasser verkocht und somit die Luft ausgetrieben ist, giesst man besagten Rohrstutzen voll gefärbte Schwefelsäure und kühlt das Gefäss mit kaltem Wasser ab. Eine kleine Luftblase wird immer noch darin verbleiben. Man treibt dieselbe durch gelindes Anwärmen bis in das Thermometerrohr und sucht sie dann mittels eines eingeführten dünnen Eisendrahts, mit dem man schnell auf und nieder pumpt, nach oben zu bringen. Nachdem dies gelungen, entfernt man den Stutzen samt der Säure. Nunmehr legt man das Instrument horizontal und verdrängt aus der Röhre mit Hilfe des Drahts soviel Säure, dass der Eispunkt nachher etwa 150 mm über dem Gefäss zu liegen kommt. Schliesslich wird das herausragende Rohrende abgeschnitten.

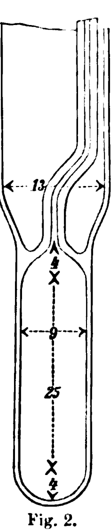
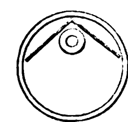


Fig. 2.

Die Skala ist auf einem Cartonstreifen von 16 mm Breite aufgetragen. Dieser ist seiner Mittellinie nach unter einem Winkel von etwa 120° geknickt und dann hinter das Thermometerrohr geschoben, sowie es Fig. 3 in nat. Gr. zeigt. Die Einknickung bezweckt, dass die Skala auch von der Seite her gut gesehen werden kann. Es ist klar, dass eine bis auf Einzelgrade gehende Theilung in der Entfernung nicht erkannt werden würde. Deshalb sind in Intervallen von 10 zu 10 Graden — etwa 15 mm von einander entfernt — kräftige schwarze Skalenstriche aufgetragen. Die Einzelgrade müssen nach dem Augenmass abgeschätzt werden, was den Schülern leicht gelingt. Selbstverständlich können auch keine Ziffern an der Skala angebracht werden. Dieselben habe ich dadurch entbehrlich gemacht, dass ich die Felder für die Dekaden unmittelbar über und unter 0°, 100°, 200° roth, die Felder bei 50° und 150° grün tuschte.


Fig. 3.

Der Abstand der beiden festen Punkte wird durch einen Vorversuch in

[1]) Ein nach oben stehenden Angaben gefertigtes leeres Thermometer kostet 1,50 Mk. Von der Thüringischen Glasinstrumentenfabrik in Ilmenau erhielt ich zuletzt zwei Exemplare in beste Ausführung.



der Art bestimmt, dass man einen schmalen Cartonstreifen hinter das Rohr schiebt, welcher an seinem unteren Ende einen Querstrich hat. Diesen Index bringt man mit dem Stand des Thermometers in Eis, resp. Wasserdampf, zur Coincidenz und zieht in beiden Stellungen über den Rand des Skalenrohrs Bleistiftstriche auf den oben herausragenden Streifen. Der Abstand dieser beiden Striche wird bei der Anfertigung der Skala zugrunde gelegt. Nachdem die Skala richtig eingeführt, wird das Skalenrohr durch eine aufgekittete Messingkapsel geschlossen.

In wie weit dieses Instrument seinen Zweck erfüllen wird, kann der Leser beurteilen, wenn er die Fig. 1., welche den Stand in siedendem Alkohol darstellt, aus 1 m Entfernung betrachtet. So sieht das wirkliche Thermometer in 4 m Entfernung aus.[2]) — Vergleichende Versuche zeigten, dass Schwefelsäure- und Quecksilber-Thermometer von —20° bis +200° übereinstimmen. Ein Nachteil vor dem letzteren liegt in der schlechten Wärmeleitung der Schwefelsäure, woraus eine grössere Trägheit unseres Instrumentes entspringt. Indessen ist dies nur störend, wenn es gilt die Temperatur von Gasen schnell zu bestimmen. In Flüssigkeiten und Dämpfen, und diese kommen bei Schulversuchen eigentlich nur in Betracht, ist es hingegen schon nach 1 Minute stationär.

Zum Schluss sei noch bemerkt, dass wenn sich durch ungünstige Beleuchtung auf dem Skalenrohr störende Reflexe zeigen sollten, man dieselben durch Schliessung bestimmter Rouleaux oder durch passend aufgestellte Pappschirme beseitigen muss.

Ein neuer Apparat zur Darstellung einfacher Schwingungen[1]).

Von

Dr. **Joh. Bergmann** in Greifswald.

Unter einfachen Schwingungen sollen im Folgenden solche periodische Bewegungen eines Punktes auf einer Geraden verstanden werden, dass seine Entfernung von einer bestimmten Gleichgewichtslage und auch seine Geschwindigkeit in jedem Augenblicke als eine Sinusfunktion der Zeit dargestellt werden kann. Schwingungen dieser Art spielen namentlich in der Akustik und Optik eine wichtige Rolle.

Man hat nun eine Reihe von Apparaten zur Veranschaulichung der Erscheinungen, welche durch einfache Schwingungen entstehen. Sie werden im allgemeinen als Wellenmaschinen bezeichnet. Ein Apparat indessen, welcher speziell zur Darstellung und Erläuterung der einfachen Schwingungen selbst dient, ist, soweit dem Verfasser bekannt, bis jetzt nicht vorhanden.

Die Methode, solche Schwingungen mit Hilfe des Pendels zu veranschaulichen, leidet an erheblichen Mängeln. Da jene Schwingungen nämlich sich auf einer Geraden vollziehen sollen, so sind mit ihnen Pendelschwingungen identisch entweder unter der Voraussetzung unendlich kleiner Amplituden oder bei unendlich grosser Aufhänge-Vorrichtung des schwingenden Pendels. In der Praxis werden

---

[2]) Die Neigung der Skalenhälften gegen einander ist in Fig. 1 so dargestellt, wie sie an einem erheblich höher gelegenen Standpunkte erscheinen würde.

[1]) Vergl. „Mittheil. a. d. naturw. Verein f. Neuvorpommern u. Rügen", 18. Jahrg. (Greifswald 1887).



diese Bedingungen jedoch nicht erfüllt, und daher wird der Zweck nur angenähert erreicht. Dass infolge dessen die Vorstellung von dem wahren Sachverhalt weit entfernt bleibt, liegt auf der Hand.

In den folgenden Zeilen soll ein Apparat beschrieben werden, der bei Anwendung eines Mechanismus von grosser Einfachheit einfache Schwingungen mit mathematischer Genauigkeit darstellt. Die Construktion desselben beruht auf einer bekannten geometrischen Betrachtung. Auf der Peripherie eines Kreises (Fig. 1) bewege sich ein Punkt P mit **constanter** Geschwindigkeit. Gleichzeitig mit ihm bewege sich ein zweiter Punkt Q auf dem Durchmesser AB des Kreises in der Weise, dass Q beständig die Projektion von P auf den Durchmesser darstellt. Der Punkt Q führt dann einfache Schwingungen aus, deren Amplituden gleich dem Durchmesser AB sind.

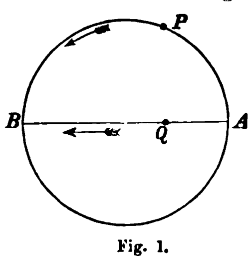


Fig. 1.

Die Bewegungen des uns interessierenden Punktes Q und die zugehörigen von P sind es, welche der in Fig. 2 abgebildete Apparat darstellt. Auf zwei Bügeln C und D ruht ein Gehäuse aus Holz, in dem sich der Mechanismus befindet. In das vordere Deckblatt des Gehäuses sind Bahnen eingeschnitten, entsprechend der geometrischen Fig. 1 und in diesen laufen Träger für zwei kleine, runde Metallplatten G und H, welche die Punkte Q und P markiren. Die Zahlen 0, 90 etc. dienen zur Eintheilung der Kreisbahn für H in Quadranten. Die sechs auf der Vorderseite noch sichtbaren Bügel haben den Zweck, die halbkreisförmigen Segmente des Deckblattes, welche infolge des Einschneidens der Bahnen vollständig frei geworden sind, in der gehörigen Stellung zu halten. Das Deckblatt ist an dem Apparate mit Charnieren E und F befestigt. Daher kann das Gehäuse geöffnet und der im Innern befindliche Mechanismus gezeigt werden, wenn man die Platten G und H, welche auf ihre Träger aufgeschraubt sind, zuvor entfernt hat. Man sieht dann den Apparat in der in Fig. 3 angegebenen Gestalt.

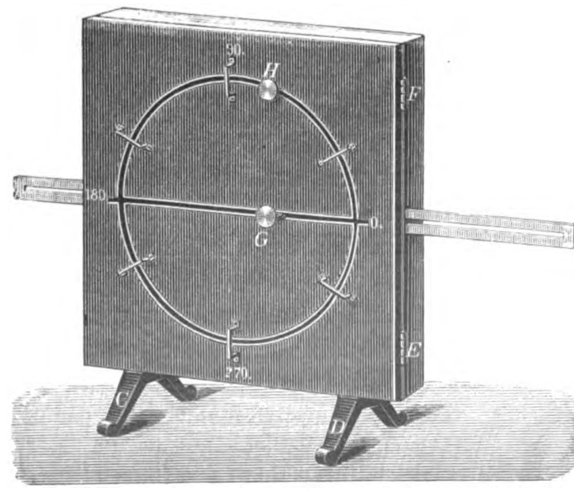


Fig. 2.

Der Mechanismus besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen, einem Rade und einer Steuerung von besonderer Form. Das Rad ist an einer metallenen Axe befestigt, und diese läuft in einer Hülse, welche die Rückwand des Gehäuses im Schnittpunkte der Diagonalen durchbohrt. An dem freien Ende der Axe, also auf der Rückseite des Apparates, befindet sich eine Kurbel, vermittelst welcher das Rad in Drehung versetzt werden kann. Fig. 4 stellt die Vertikalprojektion dieser Vorrichtung dar. Die Form der Steuerung ist aus Fig. 3 ersichtlich. Sie besteht aus zwei zu einander senkrechten Schienen; die eine von diesen, NO, ist ihrer ganzen Länge nach durchbrochen, die andere, JK, besteht aus zwei Hälften, die durch NO völlig von einander getrennt sind, und deren jede für sich ebenfalls der Länge nach durchbrochen ist.

In den Seitenwänden des Gehäuses befinden sich bei *R* und *S* Einschnitte von passender Grösse zur Aufnahme und Führung der Steuerung. Zapfen mit breiten Köpfen, welche durch die Durchbrechung von *JK* hindurchragen und in den Seitenwänden befestigt sind, halten die Steuerung in den erwähnten Einschnitten, jedoch so, dass sie sich mit Leichtigkeit verschieben lässt. Durch die Durchbrechung der Schiene *NO* ragt ein auf der Peripherie des Rades befestigter, auch in Fig. 4 sichtbarer Zapfen hindurch, welcher die Steuerung nach rechts oder links schiebt, wenn das Rad sich bewegt. *T* selbst gleitet dabei in der Durchbrechung von *NO* auf und ab.

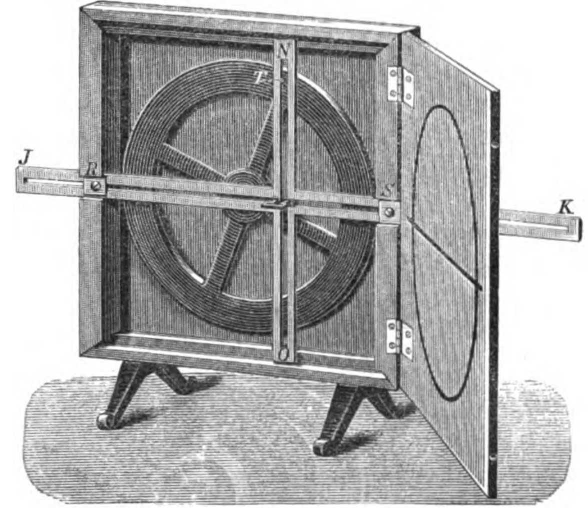
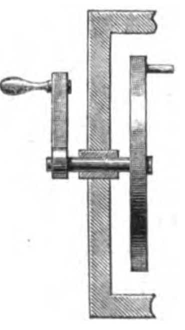


Fig. 3.

Es handelt sich jetzt noch um die Befestigung der Metallplatten *G* und *H*. Den Träger für *H* bildet eine Verlängerung des eben erwähnten Zapfens *T*, welche so gross gewählt ist, dass sie durch die in das Deckblatt des Apparates eingeschnittene Kreisbahn hindurchragt. Als Träger für *G* dient ein auf der Schiene *NO* gerade über der Kreuzungsstelle beider Schienen angebrachter Bügel. Vermöge seiner Gestalt lässt er den Zapfen *T* mit der Platte *H* ungehindert durch sich hindurch gehen; der Durchgang findet jedesmal statt, wenn beide Platten *G* und *H* an dem Endpunkte des von *H* beschriebenen Kreises zusammenkommen. Fig. 5 stellt die Horizontalprojektion der Stellung in einem derartigen Momente dar. Auf dem Rade *U* sitzt der Zapfen *T* mit der Platte *H*, auf der Schiene *JK* der Bügel mit der Platte *G*. Da *G* dann vollständig über *H* steht und die Platten gleich gross sind, so erscheinen sie als eine einzige, wie es auch erforderlich ist, wenn man sich in Fig. 1 die Punkte *P* und *Q* bei *A* oder *B* befindlich denkt.


Fig. 4.

Man kann jetzt leicht das Spiel des Apparates übersehen. Wird die in Fig. 4 sichtbare Kurbel gedreht, so setzt sich das Rad in Bewegung, und die Platte *H* auf dem Zapfen *T* beschreibt einen Kreis. Gleichzeitig wird durch *T* die Steuerung und mit ihr die Platte *G* in eine oscillierende Bewegung versetzt, welche sich in dem horizontalen Durchmesser des von *T* beschriebenen Kreises vollziehen muss. Wie schon hervorgehoben, gleitet dabei *T* in der vertikalen Schiene der Steuerung auf und ab. Die Kurbel kann selbstverständlich in dem einem oder dem anderen Sinne gedreht werden.

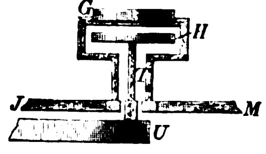


Fig. 5.

Die Dimensionen des Apparates sind so gewählt, dass die Amplitude des Punktes *G* 24 cm beträgt. Die Wände des Gehäuses sind aus Holz gearbeitet, alles Übrige besteht aus Metall und zwar aus Eisen und Messing. Die Steuerung ragt auf beiden Seiten des Apparates zum Theil hervor. Unter den Köpfen der

Zapfen bei R und S befinden sich noch metallene Schleiffedern, welche die gute Führung der Steuerung sichern.

Wie man aus der Beschreibung des Apparates ersieht, stellt er vermöge seiner Construktion die einfachen Schwingungen mit mathematischer Strenge dar. Er kann ferner dazu dienen, die in Fig. 1 angedeutete wichtige Projektion der gleichförmigen Kreisbewegung auf den Durchmesser vor Augen zu führen, und unmittelbar veranschaulicht er den bekannten Satz, dass ein Punkt einen Halbkreis, und seine Projektion auf den zugehörigen Durchmesser diesen stets in derselben Zeit durchlaufen.

Kleine Mitteilungen.

Versuch über die elektrische Leitungsfähigkeit verdünnter Luft und die damit verbundene Lichterscheinung.

Von Professor Dr. **Ad. Schumann** in Berlin.

Wohl bei jedem Unterricht in der Elektricitätslehre wird das eigentümliche Erglühen verdünnter Gase, namentlich auch verdünnter Luft, unter dem Einfluss der Elektricität an den Geissler'schen Röhren vorgeführt. Aber bei dieser Form des Versuches fehlt, abgesehen davon, dass der Schüler die Art der Füllung der Röhre auf guten Glauben hinnehmen muss, die Einsicht in den Grad der Luftverdünnung; die Frage, die sich dem denkenden Schüler aufdrängt, wie weit die Verdünnung vermindert werden kann, um noch die Erscheinung zu zeigen, und wie mit der Veränderung der Verdünnung die Lichterscheinung sich modifiziert, wird nicht entschieden. Mit Hülfe eines elektrischen Ei's, welches der Luftpumpe aufgeschraubt wird, lassen sich diese Fragen leicht beantworten, wenn aber diese Mittel nicht zur Verfügung stehen, wird man gern zu der folgenden Form des Versuches greifen, die ich in meinem Unterricht mit Erfolg angewendet habe.

Man benutze eine U-förmige Glasröhre, deren Schenkel die Weite und Länge einer Barometerröhre haben und an einer Stelle, der grösseren Festigkeit halber, durch ein hölzernes Querstück verbunden sind. Man verschaffe sich ferner zwei gläserne Näpfchen, welche 5 bis 6 cm Durchmesser haben; statt dieser können auch beliebige kleine Krystallisationsschalen, über die wohl jeder Lehrer der Physik verfügt, Verwendung finden. Nachdem man die Röhre mit Quecksilber gefüllt und in die Näpfchen ausreichend Quecksilber gegossen, verschliesse man die beiden Schenkel der Röhre durch Mittel- und Zeigefinger, kehre die Röhre um und verfahre wie bei dem Torricelli'schen Versuch, indem man die Oeffnung jedes Schenkels in eines der Näpfchen bringt. Es bildet sich in dem Bug der Röhre das sogenannte Vacuum Torricellianum; thatsächlich ist aber dieser Raum mit verdünnter Luft erfüllt, deren Verdünnungsgrad sich durch Vergleich mit einem Barometer bestimmen lässt.

Leitet man nun zwei Drähte, etwa von einer Holtz'schen Maschine aus, in die Näpfchen, so findet ein elektrischer Ausgleich durch das Quecksilber und den luftverdünnten Raum der Röhre hindurch statt, und dieser erstrahlt mit röthlichem Lichte. Vergrössert man die Dichtigkeit der Luft, indem man durch einen Schenkel der Röhre Luftbläschen aufsteigen lässt, so kann der Einfluss dieser Aenderung auf die Erscheinung verfolgt werden. Bei einem gewissen Grade der Dichtigkeit versagt Leitung und Lichterscheinung, beide werden erst durch Vermehrung der elektrischen Spannung in intermittierender Form wieder hervorgerufen. Bei weiterer Zunahme der Dichtigkeit endlich hört die Leitung durch die Röhre ganz auf, und die Elektricität sucht ihren Ausgleich durch glänzende Funken, welche von Näpfchen zu Näpfchen überschlagen.

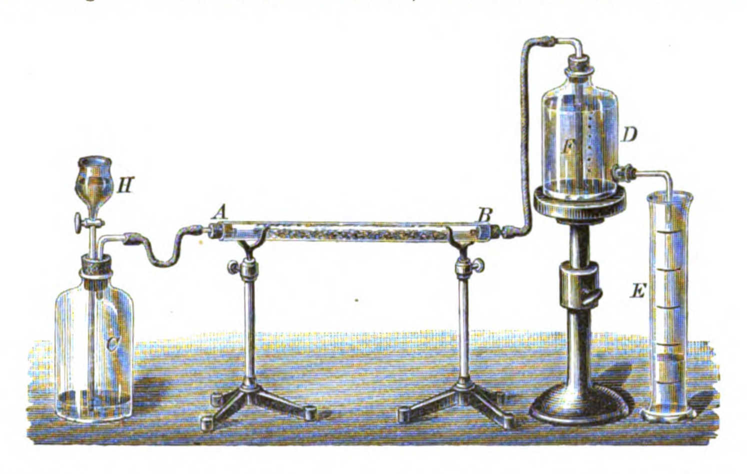


Vorlesungsversuch zur Bestimmung des Sauerstoff- und Stickstoffgehaltes der atmosphärischen Luft.

Von **Dr. Friedr. C. G. Müller** in Brandenburg a. H.

(Mitgeteilt aus dem Chem. Centralblatt 1887 No. 18.)

Die zu untersuchende Luft befindet sich in einer etwa 3 l fassenden Flasche *C*. Sie wird durch Wasser, welches man durch den Hahntrichter *H* einfliessen lässt, verdrängt und durch eine etwa 40 cm lange, 1,6 cm weite Röhre *AB* von schwer schmelzbarem Glase geleitet, in welcher gekörntes, reduziertes Kupfer durch geeignete Brenner zum schwachen Glühen erhitzt ist. Nachdem sie *AB* passiert, tritt sie in die unten tubulierte Flasche *D* von entsprechendem Inhalte, welche beim Beginn des Versuches mit Wasser gefüllt ist. Die Einströmung geschieht nur durch eine bis auf den Boden von *D* reichende Glasröhre *F*; das verdrängte Wasser fliesst durch eine nach unten gebogene Glasröhre, deren vertikaler Schenkel 10 cm lang ist, in den kalibrierten Cylinder *E*, oder, falls es auf grössere Genauigkeit des Ablesens ankommt, in eine Maassflasche von entsprechender



Kapazität. Die Gefässe *C* und *D* müssen, um eine Erwärmung zu vermeiden, hinreichend weit von *AB* entfernt stehen; am besten schützt man sie durch vorgestellte Papptafeln. Soll der Versuch beginnen, so wird bei geschlossenem Trichterhahn die Röhre so lange erhitzt, bis deren Temperatur stationär geworden, und kein Tropfen Wasser mehr aus *D* fliesst. Nun lässt man aus einem Messkolben 500 ccm Wasser durch *H* in *C* einfliessen, wobei man Sorge trägt, den Hahn in dem Moment völlig zu schliessen, wo das Niveau bis in die Röhre des Trichters gesunken. Wenige Sekunden später hat sich der Druck im Apparate ausgeglichen. In *E* befinden sich dann etwa 395 ccm Wasser. Der Versuch wird ohne weiteres noch viermal wiederholt. Man darf so rasch operieren, dass die fünf Versuche nur 4 bis 5 Minuten Zeit beanspruchen.

Nach Beendigung der Versuchsreihe zeigt man, dass in *D* eine Kerze erlischt. Das Kupfer ist in der vorderen Hälfte der Röhre schwarz geworden, in der hinteren aber unverändert. Nach dem Erkalten findet man die Röhre etwa 0,6 g schwerer.

Der beschriebene Apparat unterscheidet sich von älteren derart, speziell dem in Arendt's Experimentalchemie S. 22 abgebildeten van Hasselt'schen Apparate, zuvörderst dadurch, dass an Stelle einer pneumatischen Wanne die Flasche *D* angeordnet ist, wodurch das Experimentieren an sich, besonders aber die Anstellung einer Versuchsreihe, ungleich bequemer wird. Das wesentlichste aber ist die bis auf den Boden von *D* reichende Röhre *F*, wodurch nach dem Prinzip der Mariotte'schen Flasche der Druck im Apparate während der Versuche konstant erhalten wird, nämlich gleich dem Luftdruck, vermindert um den Druck einer Wassersäule, welche dem Niveauunterschiede des unteren Endes von *F* und der Ausflussöffnung entspricht.

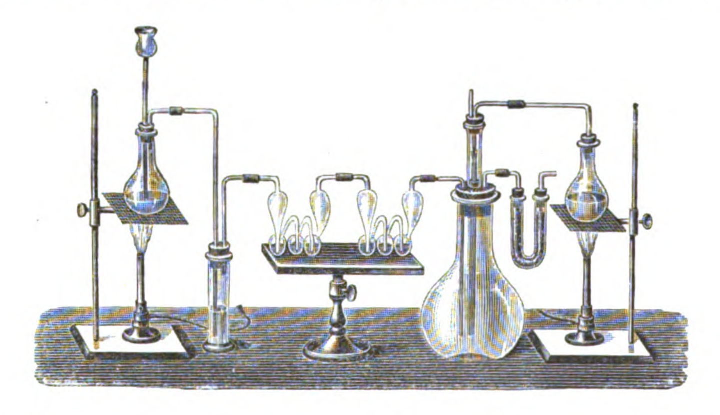


Hierdurch wird der Apparat wissenschaftlich genau, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das ausfliessende Wasser nicht misst, sondern wägt. Es bedarf kaum der Erinnerung, dass die dem Experiment unterworfene Luft mit Wasser gesättigt ist, und somit das Volum des ausgeflossenen Wassers gleich ist dem des Stickstoffes und des Wasserdampfes. Das Verhältnis des trockenen Stickstoffes zum trockenen Sauerstoff lässt sich daraus leicht ableiten. Die Zimmertemperatur sei beispielsweise 20°. Hierbei sind in 1000 Vol. Luft nach Ausweis der Tensionstabellen 22 Vol. Wassergas enthalten. Der Versuch gab 397 ccm ausgeflossenes Wasser, also 794 auf 1000. An reinem Stickstoff wären also 794—22 = 772 Vol. vorhanden. Für den reinen Sauerstoff bleibt als Rest 205. Demnach enthält die Luft auf 772 Stickgas 205 Sauerstoff, mithin trockne Luft 79,1 % Stickstoff und 20,9 % Sauerstoff.

Apparat zur Darstellung der englischen Schwefelsäure.

Von Dr. **F. Wilbrand** in Hildesheim.

Bei den üblichen Apparaten zur Darstellung der englischen Schwefelsäure verlaufen die verschiedenen bei der Fabrikation auftretenden Processe neben einander. Der obige Apparat soll dieselben nach einander zeigen, was für das Verständnis des ganzen Vorgangs vortheilhafter sein dürfte. Im Kolben links wird schweflige Säure entwickelt, die in der ersten Kugelröhre mit Salpetersäure in Berührung kommt. Braune Dämpfe von Untersalpetersäure bilden sich, die durch ein zweites mit Wasser gefülltes Kugelrohr geleitet werden. Aus diesem entweicht ein farbloses Gas, das beim Eintritt in die grosse Flasche braun wird und sich dadurch als Stickstoffoxyd zu erkennen giebt. Im Kugelrohr bleibt



Salpetersäure und, wie die später auftretende Bläuung beweist, etwas salpetrige Säure. Bei Zutritt von Wasserdampf zu der durch den Sauerstoff der Luft neu gebildeten Untersalpetersäure entsteht wieder Salpetersäure und Stickstoffoxyd. Der Dampfstrom reisst, wie die Anordnung des Apparats zeigt, zugleich neue Luft mit in den grossen Kolben. Wird während des Versuchs das kleine Luftzuflussrohr oben verschlossen, so bleibt der Kolbeninhalt farblos, und die aus dem U-Rohr austretenden braunen Dämpfe zeigen den Verlust von Salpetersäure an. Der Versuch wird unterbrochen, sobald die Entwicklung der braunen Untersalpetersäuredämpfe aus dem ersten Kugelrohr nachlässt. Das Rohr zeigt sich dann mit Schwefelsäure gefüllt.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Eine hydrostatische Wage von grosser Feinheit wird von J. Joly in den *Sc. Proc. Dubl. Soc. 1887, vol. V, part. 5* beschrieben. Das Prinzip ist das des Nicholson'schen Aräometers. In einem kugelförmigen Metallgefäss, das nur an der unteren Seite eine enge tubulierte Öffnung hat, befindet sich ein gleichfalls kugelförmiger Schwimmer, von dessen unterem Ende ein dünner Draht durch die genannte Öffnung abwärts nach aussen führt. Die Offnung ist so eng, dass bei völliger Füllung des Innenraumes mit Wasser kein Abfluss stattfindet. Die Wägung geschieht nach der Substitutionsmethode, indem an den Draht eine Wagschale gehängt und durch zugelegte Gewichte ins Gleichgewicht gebracht wird. Bei einer Wage, deren Schwimmer in einer Glaskugel von 6,3 cm Durchm. und 12 gr Gewicht bestand, hatte die Öffnung 3 mm Durchm., der Draht 0,09 mm, die nöthige Belastung war (bei 6° C.) 104,660 gr, die Empfindlichkeit ging bis zu 1 mg, also $^1/_{100000}$ der Belastung. — Die Reibung des Drahtes im Tubulus der Öffnung wird dadurch auf ein Minimum reduziert, dass der Tubulus an einer Stelle mit einer ringförmigen Führung versehen ist, deren Innenrand eine messerscharfe Schneide darstellt. Um zu starke Schwankungen zu vermeiden, sind ausserhalb des Gefässes Hemmungen angebracht, welche nur zwischen engen Grenzen eine Bewegung des Drahtes gestatten; dies ist um so nötiger, als das Gleichgewicht des Schwimmers ein labiles ist. Der Vorzug des Apparates vor dem Nicholson'schen gründet sich vornehmlich darauf, dass wegen der umgekehrten Aufhängung der Tragstab des letzteren durch einen sehr feinen Draht ersetzt werden kann, und dass hierdurch der Einfluss der Adhäsion wegfällt.

Das Haften des Quecksilbers in Barometerröhren. Es war schon Huygens und Mariotte bekannt, dass das Quecksilber, wenn es von Luft möglichst befreit ist, in weit grösserer als der normalen Barometerhöhe hangen bleiben kann. J. Moser hat nachgewiesen, *(Pogg. Ann. 160)*, dass das Abreissen solcher Quecksilbersäulen stets durch ein Luftbläschen bewirkt wird, dass daher auch das vermeintlich vollkommenste Vakuum nicht völlig luftfrei ist (wie schon Robert Mayer in einem kleinen Aufsatz ausgesprochen). H. v. Helmholtz hat kürzlich einen damit zusammenhängenden Versuch gezeigt und beschrieben (*Verh. d. phys. Ges. zu Berlin, 1887, No. 3*). Ein Heberbarometer, von etwas grösserer Länge als gewöhnlich, ist am kürzeren Schenkel mit einem Hahn versehen und endet oberhalb von diesem in eine enge Spitze. Füllt man die Röhre mit Quecksilber und lässt einige ccm Wasser darin aufsteigen, so kann man es durch wiederholtes Hin- und Herfliessenlassen des Wassers und der daraus entwickelten Luftblase dahin bringen, dass die Luft zum grössten Theil aus dem Gefäss entfernt wird. Zuletzt erwärmt man die Röhre bis 40° oder 50°, indem man sie durch die Spitze einer Flamme zieht, und entfernt das noch vorhandene Luftbläschen. Dies gelingt nie ganz vollständig; wenn das Bläschen aber nur noch $^1/_4$ mm Durchmesser hat, kann man es vom Wasser absorbieren lassen, indem man die Röhre mit geöffnetem Hahn umlegt, so dass ihr oberes Ende nur wenige cm höher steht als das Niveau im kurzen Schenkel, und wartet bis das Bläschen verschwunden ist. Richtet man die Röhre dann auf, so haftet das Wasser oben am Rohre und das Quecksilber am Wasser, so dass sie nicht abreissen, so lange man Erschütterungen des Rohres vermeidet. Man kann sogar den kurzen Schenkel durch einen steifen Schlauch mit der Luftpumpe verbinden und die Luft so weit als möglich auspumpen, ohne die Flüssigkeiten zum Abreissen zu bringen. Die Cohäsion der beiden Flüssigkeiten (in Verbindung mit der Adhäsion des Wassers am Glase und des Quecksilbers am Wasser) überwindet hierbei also einen „negativen Druck" von mehr als einer Atmosphäre, ohne dass doch das Wasser absolut luftfrei wäre.

Der Versuch steht im Zusammenhang mit Messungen über die Grösse der elektromotorischen Kraft, die zur Zersetzung des Wassers erforderlich ist. Die Wassersäule zerreisst, sobald die angewendete elektromotorische Kraft im Stande ist, die Zersetzung



des Wassers einzuleiten. Nach einer neueren Veröffentlichung auf Grund anders angeordneter Versuche *(Sitz.-Ber. d. Berl. Ak., 1887, S. 755)* liegt die untere Grenze dieser Kraft bei 10 mm Wasserdruck zwischen 1,63 und 1,64 Volt und steigt bei 742 mm Quecksilberdruck auf 1,77 Volt.

Die Reflexion des Schalles in Röhren. Bei der Reflexion der Schallbewegung am Ende einer Röhre findet bekanntlich eine Verschiedenheit statt, jenachdem das Ende geschlossen oder offen ist. An einem geschlossenen Ende tritt die Reflexion ohne Änderung des Dichtigkeitszustandes unter blosser Umkehrung des Zeichens der Geschwindigkeit ein; an einem offenen Ende dagegen geht Verdichtung in Verdünnung über und umgekehrt, während die Geschwindigkeit der Bewegung ihre Richtung beibehält. Von A. Toepler wurde vor einiger Zeit, in *Wiedemann's Annalen, 28 (1886)*, ein für Vorlesungsversuche geeignetes Verfahren angegeben, um die Reflexion einzelner Verdichtungs- oder Verdünnungsstösse am geschlossenen oder offenen Rohrende zu zeigen. Er benutzte dazu eine Leitung aus dünnwandigen, etwa 15 mm weiten Messingröhren, die in einem Zimmer viermal an den Wänden herumgeführt war, so dass die Gesammtlänge 88 m betrug. Die Luftstösse wurden durch einen Gummiballon an dem einem Ende der Leitung hervorgebracht, in der Art, dass bei plötzlichem Zusammendrücken eine Verdichtung, bei plötzlichem Aufschnellen nach vorheriger Zusammendrückung eine Verdünnung entstand. In der Nähe jedes Endes war ein Flammenzeiger an die Leitung angesetzt., gebildet aus einem engen Röhrchen, welches gegen eine kleine Gasflamme gerichtet war; ein solcher Zeiger reagiert nur auf Verdichtungs-, nicht aber auf Verdünnungsstösse. War das freie Ende der Leitung geschlossen, so zuckten die beiden Flammen, nachdem ein Verdichtungsstoss erzeugt war, abwechselnd etwa neunmal in gleichen Intervallen von ca. $^1/_3$ Sekunde, die mit einem abgestimmten Taktzähler leicht verfolgt werden konnten. War das freie Ende dagegen offen, so wurde die anfängliche Verdichtung als Verdünnung reflektiert, erzeugte also bei der Rückkehr an der Anfangsflamme keine Zuckung, wohl aber nach nochmaliger Reflexion bei der zweiten und vierten Rückkehr, während die Endflamme in dem ganzen Verlauf ruhig blieb. Ähnlich sind die Erscheinungen, wenn zu Anfang ein Verdünnungsstoss hervorgebracht wird. Beiläufig zeigte sich auch bei diesem Versuche, dass die Schallgeschwindigkeit in engen Röhren eine erhebliche Verminderung erfährt; sie betrug für die beschriebenen Röhren nur 299 m. — Töpler bemerkt, dass sich auch eine kürzere Leitung aus Gummischläuchen von 8 bis 10 mm Weite verwenden lässt, wobei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit noch weit geringer, aber auch die Zahl der beobachtbaren Reflexionen sehr vermindert wird.

Zu demselben Zwecke bediente sich F. Halsch (*Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Bd. 114, II, 1886*) eines im wesentlichen schon von O. Tumlirz zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Röhren verwendeten Apparates: einer Blechröhre von 2,4 cm Weite und 42,36 m Länge, deren Enden dicht neben einander gelegen waren und mit Membranschreibern (Marey'schen Tambours) zum Aufzeichnen der Schwingungen auf einem rotierenden Cylinder versehen werden konnten. Zur Schallerregung benutzte er kleine Mengen Knallsilber, die in einem Rohransatz befindlich waren und mit Hilfe zweier Zuleitungsdrähte durch eine Leydener Flasche zur Explosion gebracht werden konnten. Die Tambours an den Enden der Röhren zeichneten Curven auf, welche bei straffen Membranen, leichtem Schreibhebel und Öldämpfung (nach Fick) ein sehr getreues Bild der Reflexionsvorgänge an den Enden der Röhre ergaben. Der Hebel eines solchen Tambours kann überdies auch dazu dienen, diese Vorgänge weithin sichtbar zu machen. Ebenso geeignet dafür erwiesen sich die Mach'schen Flammenzeiger, bei denen die Druckvariationen durch das Brennerrohr hindurch in die Flammen selbst eingeführt werden, und welche sowohl auf Verdichtungen als auf Verdünnungen reagieren. Als Schallquelle diente in diesem Falle ein mit einer Membran überspannter Trichter.

Endlich sind neuerdings von J. Violle (*Journ. de Phys. 1887, p. 339*) ähnliche



Versuche zu Vorlesungszwecken beschrieben worden. Er empfiehlt eine Zinkröhre von etwa 20 m Länge und 4 bis 5 cm Durchmesser, die auch der bequemeren Handhabung wegen zusammengebogen ist. An dem einen Ende befindet sich eine kleine Salonpistole, um einen plötzlichen Condensationsstoss hervorzurufen. Dies Ende kann im übrigen entweder offen gelassen oder durch einen Stopfen verschlossen werden, der nur das Röhrchen der Salonpistole aufzunehmen hat. Das andere Ende ist dauernd geschlossen, und zwar wie in den vorher berichteten Versuchen durch eine empfindliche Membran, die mittelst eines Kautschukschlauches von beliebiger Länge an das Rohr angesetzt ist. Diese Membran schreibt ihre Bewegungen durch ein Stiftchen zugleich mit einer chronographischen Stimmgabel auf eine rotierende Trommel, oder auf eine geschwärzte Glasplatte, welche die Zeichnung auch durch Projektionsvorrichtung objektiv sichtbar zu machen gestattet. Die Bewegung des Stiftes lässt erkennen, dass die aufeinanderfolgenden Erschütterungen abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen entsprechen, wenn das andre Ende der Röhre offen ist, dagegen nur Verdichtungen, wenn jenes Ende geschlossen bleibt. Die Zeit für das doppelte Durchlaufen der Röhre betrug bei diesen Versuchen 0,1439″.

Zerlegung des weissen Lichtes in Complementärfarben. Um zusammengehörige Complementärfarben neben einander herzustellen, benutzt man nach dem Vorgange von Dubosq, dem auch Weinhold (*Physik. Demonstr.*) gefolgt ist, ein Prisma mit sehr kleinem brechenden Winkel, das man in den Weg der Strahlen setzt, nachdem diese durch ein Prisma gebrochen und durch eine Linse convergent gemacht sind; dadurch wird ein Theil des Strahlenbündels ausgesondert und für sich zur Vereinigung gebracht. Ein einfacheres Verfahren wird von W. v. Bezold vorgeschlagen (*Verh. d. phys. Ges. z. Berlin, 1887, No. 5 und Wied. Ann. XXXII, 165*). Man stellt ein Diaphragma her, indem man eine rechteckige Spiegelglasplatte mit Stanniol beklebt, dann die eine (untere) Hälfte der Belegung bis auf einen schmalen Streifen in der Mitte entfernt, während man von der anderen (oberen) Hälfte nur einen correspondierenden schmalen Streifen aus der Mitte herauslöst. Setzt man dieses Diaphragma dicht hinter die Cylinderlinse, welche die Wiedervereinigung der dispergirten Strahlen bewirkt, so gehen durch die obere Hälfte des Diaphragmas nur solche Strahlen hindurch, welche von der unteren Hälfte aufgehalten werden. Das auf einem Schirm aufgefangene Spaltbild zeigt daher in seiner oberen und unteren Hälfte complementäre Farben. Diese Methode giebt überdies auch einen deutlichen Eindruck davon, dass die untere Farbe einen viel höheren Grad der Sättigung besitzt als die obere, und daher nicht so rein wie diese, sondern blass erscheint.

Die Umkehrung der Natriumlinie. O. Tumlirz beschreibt in *Exner's Rep. d. Ph. (1887, S. 404)* einen Apparat, bei welchem das emittierte Licht, wie üblich, von der natriumgelb gefärbten Flamme eines Bunsen'schen Flachbrenners herrührt, während die Absorption durch einen Spiritusflachbrenner bewirkt wird; dieser bietet den Vorteil, dass das Licht den kälteren Kern allein durchsetzt, ohne die heisseren Theile der Flamme zu passieren. Der Spiritusbrenner enthält zu diesem Zwecke (ähnlich wie die Petroleumlampe des Skioptikons) einen doppelten Docht von ungefähr 5 cm Breite, dessen beide Enden einen spitzen Winkel mit einander bilden; sie wird mit Weingeist gespeist, der mit etwa 30% Wasser verdünnt ist. Die Flamme wird überdies dadurch gekühlt, dass sie an jeder Längsseite von drei parallel über einander angebrachten Kohlenstäbchen eingefasst wird und noch ein siebentes zwischen beiden Dochten liegendes Stäbchen umspült; diese Stäbchen sind sämtlich mit einem Kochsalzüberzug versehen, der durch seine Verdampfung zur Abkühlung der Flamme beiträgt und deren Färbung hervorruft. Der Bunsenbrenner wird nun so gestellt, dass das von ihm ausgehende Licht die Spiritusflamme in ihrer Längsrichtung, also parallel den Kohlenstäbchen durchsetzt; man sieht dann den Kern der Spiritusflamme in der Gestalt eines umgekehrten Y. Hat das emittierte Licht keine zu grosse Intensität, so erscheint die Spiritusflamme fast ganz schwarz.

In der *Zeitschr. f. d. (österr.) Realschulwesen (XII, 8, 1887)* macht F. EMICH darauf aufmerksam, dass sich die Umkehrung der Natriumlinie für subjektive Beobachtung recht gut mit Hilfe der elektrischen Glühlampe ausführen lässt. Man projiziert mittelst einer Sammellinse von etwa 1 dcm Brennweite das Bild des glühenden Kohlenfadens genau auf den Spalt, indem man zweckmässig beide, Kohlenfaden und Spalt, in der doppelten Brennweite der Linse anbringt. Vor den Spalt stellt man ein Porzellanschälchen, in welchem sich ein mit wässrigem Weingeist getränkter und stark mit Kochsalz bestreuter Wattebausch befindet, der angezündet wird. Bei möglichst eng gemachtem Spalt sieht man die Absorptionslinie des Natriumdampfes so scharf wie die D-Linie im Sonnenspectrum.

Ein einfaches Experiment über die Ausdehnung eines festen Körpers durch die Wärme. Nach H. G. MADAN (*Nature XXXV, p. 89*) wird ein flacher Stab aus Kupfer, Eisen oder Glas von etwa 30 cm Länge über zwei Holzklötze gelegt, die um etwa 25 cm von einander entfernt sind. Das eine Ende des Stabes wird durch ein Gewichtstück beschwert, unter das andere Ende dagegen wird eine feine Nähnadel geschoben, durch deren Oehr ein Strohhalm von 16 bis 20 cm Länge als Zeiger gesteckt ist. Hinter dem Zeiger wird ein Schirm von weissem Papier aufgestellt.

Beim Erhitzen des Stabes durch eine Spiritusflamme setzt sich der Zeiger in Bewegung. Sogar die geringe Ausdehnung von Glas wird auf diese Weise sichtbar. Noch genauer arbeitet der Apparat, wenn man die Nadel auf glattem Metall rollen lässt. Legt man zwei Stäbe von verschiedenem Metall dicht neben einander, deren jeder seine besondere Nadel hat, und deren Zeiger sich vor derselben Skala bewegen, und erhitzt man beide Stäbe mittelst einer breiten Spiritusflamme (die in einem trogförmigen Gefäss erzeugt wird), so kann man auch die Differenz der Ausdehnungen zeigen. Die Zeiger versieht man zweckmässig mit einem Gegengewicht, indem man in dasjenige Ende des Strohhalmes, welches durch das Nadelöhr hindurchragt, ein oder zwei Schrotkörner steckt und mit Siegellack festkittet. Zu demselben Versuche wird von anderer Seite *(ebd. p. 126)* die Bemerkung gemacht, dass er unter gewissen Modifikationen zu sehr genauen Resultaten führen kann. Es wird namentlich empfohlen, statt des Gewichtstückes durch Vermittlung einer Feder einen Druck auf das festzuhaltende Ende des Stabes wirken zu lassen.

Anwendung des Kipp'schen Apparates zur Darstellung von Chlor, Schwefeldioxyd und Sauerstoff. Um den Kipp'schen Apparat zur kontinuierlichen Entwickelung von Chlor zu verwenden, empfiehlt C. WINKLER (*Ber. d. chem. Gesellschaft, XX, 184*), den Apparat mit Chlorkalk zu beschicken und diesen dann durch Salzsäure zu zersetzen. Da indess bei Anwendung von pulverförmigem Chlorkalk die Gasentwickelung anfangs zu stürmisch ist und später rasch nachlässt — ein Uebelstand, der sich durch langsames Hinzufliessen der Säure zum Chlorkalk nur in geringem Maasse beseitigen lässt —, so empfiehlt es sich, den Chlorkalk unter Anwendung eines geeigneten indifferenten Bindemittels in grössere würfelförmige Stücke zu formen. Als Bindemittel empfiehlt sich vor allem der gebrannte Gips. Man mengt trockenen Chlorkalk mit einem Viertel seines Gewichtes an Gips und fügt soviel (aber nicht mehr) Wasser hinzu, dass beim Durcharbeiten eine feuchte, bröckelige Masse entsteht, die sich zwischen den Fingern nur mit Mühe ballen lässt. Dieselbe wird dann, nachdem sie mit einer eisernen Mörserkeule kurze Zeit durchgestampft ist, in einen viereckigen eisernen Rahmen von 10 bis 12 mm Höhe mittelst eines flachen eisernen Schlägels eingeschlagen. Dann kehrt man den Rahmen auf ein Stück Wachstuch oder eine Gummiplatte um und unterwirft das Ganze dem Druck einer starken Presse. Endlich zerschneidet man die Chlorkalkscheibe zu Würfeln, welche bei einer 20° nicht überschreitenden Temperatur möglichst schnell getrocknet werden. Sie sind in gut schliessenden Gefässen aufzubewahren. Zum Gebrauch werden die Würfel in einen Kipp'schen Apparat mit eingeschliffenem Glashahn gefüllt, ausserdem wendet



man rohe, aber von Schwefelsäure freie Salzsäure von 1,124 spez. Gew. an, die vorher mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt worden ist. Der als Bindemittel benutzte Gips fällt in dem Maasse, wie die Würfel verbraucht werden, zu Boden und lagert sich dort als wenig voluminöse Masse ab.

G. NEUMANN schlägt ein ähnliches Verfahren *(Ber. d. chem. Gesellschaft, XX, 1584)* zur kontinuierlichen Entwickelung von Schwefeldioxyd und von Sauerstoff vor. Im ersteren Falle sind Würfel anzuwenden, die aus einem Gemisch von 3 T. Calciumsulfit und 1 T. Gips hergestellt sind. Als Flüssigkeit dient rohe konzentrierte Schwefelsäure. Im Interesse der sparsamen Verwendung der Würfel ist es wünschenswert, von Anfang an nicht mehr Würfel durch Schwefelsäure zu benetzen, als zur Erzeugung des gewünschten Gasstromes unbedingt erforderlich ist. Zur Darstellung von Sauerstoff dienen Würfel aus 2 T. Baryumsuperoxyd, 1 T. Braunstein und 1 T. Gips, welche man durch Salzsäure von 1,12 spez. Gew. zersetzt, die vorher mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt war. Das entwickelte Gas ist durch Natronlauge zu waschen. — Die vorstehend beschriebenen Würfel werden von der chemischen Fabrik von H. Trommsdorff in Erfurt angefertigt. *Bgr.*

---

2. Forschungen und Ergebnisse.

Überführung von Flüssigkeiten in den festen Aggregatzustand durch blossen Druck. Es ist eine theoretische Forderung, dass es möglich sein muss, Substanzen, welche im festen Zustande dichter sind als im flüssigen, allein durch hohen Druck aus dem zweiten in den ersten überzuführen. Indessen war bisher kein Beispiel dieser Art bekannt. E. H. AMAGAT glaubt jetzt in dem Tetrachlorkohlenstoff (CCl_4) einen solchen Körper aufgefunden zu haben. Die Prüfung des Aggregatzustandes geschah dadurch, dass im Innern des aus Bronze bestehenden Compressionscylinders ein kleiner eiserner Bolzen angebracht war, der auf elektromagnetischem Wege in die Höhe gehoben werden konnte und beim Niederfallen durch Zusammenstoss mit der Flüssigkeit ein deutlich hörbares Geräusch erzeugte. Dieses Geräusch verschwand, als der Druck etwa 1500 Atmosphären erreicht hatte. Durch Anfügen von konisch geformten Glasstücken an die beiden Enden des Cylinders wurde es ferner möglich, unter Anwendung von elektrischem Licht ein photographisches Bild der gebildeten Krystalle herzustellen. Die chemische Identität dieser Krystalle mit der angewandten flüssigen Substanz scheint indessen noch nicht endgültig festgestellt zu sein. Die Bestimmung des Druckes, bei welchem die Erstarrung eintritt, war deswegen schwierig, weil der Ausgleich der Compressionswärme abgewartet werden musste. Es ergab sich bei $-19°5$ ein Druck von 210 A.; bei 0° : 620 A., bei 10° : 900 A., bei 19,5° : 1160 A. — Auch das Benzin hat sich bei einem vorläufigen Versuch nach dieser Methode bei 22° durch einen Druck von ungefähr 700 Atm. zum Krystallisieren bringen lassen *(C. R.,* ***105****, p. 165/7; 1887)*.

Dampfdichte des Zinks. Es ist J. MENSCHING und V. MEYER gelungen, die Dampfdichte des Zinks zu bestimmen, was um so wichtiger ist, als bisher diese Constante nur bei zwei Metallen, *Hg* und *Cd*, ermittelt werden konnte. Die Verdampfung des Metalls musste in einer völlig sauerstofffreien Stickstoffatmosphäre innerhalb eines birnförmigen Porzellangefässes, in einem Schmelzofen von einer constanten Temperatur (ca. 1400°) vorgenommen werden. Es ergaben sich bei zwei Versuchen die Zahlen 2,41 und 2,36, woraus hervorgeht, dass die Moleküle des Zinks, ebenso wie die des Cadmiums und des Quecksilbers in dampfförmigem Zustande aus je 1 Atom bestehen. Die entsprechende theoretische Dampfdichte des Zinks ist 2,25 *(Nachr. v. d. K. Ges. d. W. zu Göttingen, 1887, No. 1)*. — Ein für Dampfdichtbestimmungen geeignetes Pyrometer wird von denselben Verf. in den *Nachr. etc. 1887 No. 7* beschrieben.

Die Lichtemission glühender fester Körper ist von H. F. WEBER *(Sitz.-Ber. der Berl. Akad. 1887, XXVIII, XXIX)* einer erneuten Untersuchung unterzogen worden.

John Draper hatte (1847) gefunden, dass alle festen Körper bei derselben Temperatur, ungefähr 525°, mit dunkler Rotglut zu glühen beginnen, und dass bei steigender Temperatur allmählich immer brechbarere Strahlen auftreten, bis bei etwa 1170° das Spektrum ebenso ausgedehnt wie das des Sonnenlichtes geworden ist. Dies Resultat erfährt durch Weber's Untersuchung eine erhebliche Modifikation. Weber suchte den Moment der eben auftretenden Rotglut an den Kohlenfasern elektrischer Glühlampen zu ermitteln; dabei ergab sich, dass schon unterhalb der Rotglut ein äusserst schwaches, „gespenstergraues“ Licht sichtbar wird, das dem Auge unstet, glimmend, auf- und abhuschend erscheint. Bei langsamer Steigerung der Stromstärke blieb dies Licht noch längere Zeit düstergrau und wandelte sich dann allmählich in aschgrau, endlich in gelblichgrau. Erst bei noch weiterer Verstärkung des Stromes zeigte sich der erste Schimmer feuerroten Lichtes, das an Stärke im weiteren Verlauf zunahm und durch Orange, Gelb, Gelblichweiss in Weiss überging. Die spektrale Prüfung ergab, das jenes erste düsternebelgraue Licht genau die Stelle des Spektrums einnimmt, an welcher eine plötzlich vergrösserte Stromstärke die gelbe und grüngelbe Strahlung erscheinen lässt. „Das Spektrum des glühenden Kohlenfadens wächst bei steigender Temperatur nicht einseitig, in der Richtung vom Rot nach dem Violett, sondern entwickelt sich, von einem schmalen Streifen ausgehend, genau von seiner Mitte aus gleichmässig nach beiden Seiten“. Weber macht darauf aufmerksam, dass die Anfangszone des sichtbaren Glühens dieselbe sei, die im völlig entwickelten Spektrum dem Auge als die hellste erscheine und auch die maximale thermische Energie entwickle. Er hält es für wahrscheinlich, dass jene Zone deswegen dem Auge am frühesten sichtbar werde, weil sie auch schon bei der Temperatur der beginnenden Grauglut die maximale Energie besitzt.

Der naheliegende Einwand, dass die beobachtete Grauglut nur eine Eigentümlichkeit des elektrischen Glühens sein könne, wird von Weber durch analoge Versuche über Lichtentwicklung bei einfacher Erwärmung zurückgewiesen, die genau den gleichen Verlauf des Glühendwerdens erkennen liessen. — Die Behauptung Draper's endlich, dass alle Körper bei derselben Temperatur und zwar bei 525° zu glühen anfangen, ist nach den Versuchen, die Weber mit verschiedenen Metallen angestellt hat, nicht mehr aufrecht zu erhalten. Vielmehr liegt die Temperatur der beginnenden Grauglut für Platin bei etwa 390°, für Gold bei 417°, für Eisen bei 377°.

Der elektrische Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Nach Versuchen von W. H. Ston, wobei die Extremitäten in Salzlösungen getaucht und grosse Bleielektroden angewendet wurden, hat sich der Leitungswiderstand des menschlichen Körpers viel geringer herausgestellt, als man bisher angenommen hat. Der Widerstand betrug bei einer erwachsenen Person von dem einen Fuss bis zum andern 939 Ohm, von einem Fuss bis zu einer Hand 905,45 Ohm. Bei diesen Versuchen hat sich auch ergeben, dass der Körper des Menschen eine sehr beträchtliche elektrostatische Kapazität besitzt, Polarisation zeigt und wie ein sekundäres Element wirkt. *(Electricité, XI, No. 6, 1887.)*

Die gegenwärtigen Anschauungen über die Elektrolyse von Lösungen bilden den Gegenstand eines Vortrages, den Fr. Kohlrausch in der *Elektrotechn. Zeitschr. 1887, VI.* veröffentlicht hat. Nach Auseinandersetzung von Grotthuss' Hypothese und von Faraday's elektrolytischem Gesetz (welches sich um so genauer bestätigt hat, je strenger es geprüft worden ist), werden Hittorf's Untersuchungen über das Wandern der Jonen besprochen und das Verhältnis der Weglängen der Jonen für eine Anzahl von Verbindungen graphisch dargestellt. Die Rolle des Lösungsmittels ist nicht als eigentliche Leitung aufzufassen, da reine Flüssigkeiten für sich sehr schlechte Leiter sind; der Verf. hat z. B. nachgewiesen, dass eine 1 mm lange Säule sorgfältig gereinigten Wassers denselben Widerstand darbietet, wie eine Kupferleitung von dem gleichen Querschnitt und von der Länge der Mondbahn. Die Elektrolyse entsteht vielmehr durch Mischung, oder anders ausgedrückt: nur Lösungen liefern gut leitende Elektrolyte. So leitet die bestleitende wässrige Lösung von Schwefelsäure etwa 100 mal, eine solche von Essigsäure gar 30 000 mal besser als



die reinen Säuren. Obwohl nun aber die Elektrolyte dem Ohm'schen Gesetz ebenso gehorchen wie die Metalle, unterscheiden sie sich von diesen doch namentlich dadurch, dass ihr Leitungsvermögen mit steigender Temperatur nicht ab —, sondern zunimmt, und dass der Einfluss der Wärme ein vielfach grösserer ist als bei den Metallen. Bei 40° ist das Leitungsvermögen gegen 0° durchschnittlich schon verdoppelt. Diese Verhältnisse werden an der Schwefelsäure ausführlich erläutert. — Ein Zusammenhang des Leitungswiderstandes der Lösungen mit ihrer mechanischen Zähigkeit tritt darin hervor, dass sich die Salze hinsichtlich beider in eine gleiche Reihe einordnen lassen. Ein eigenthümliches Gesetz spricht sich ferner in Folgendem aus: Bezeichnet man als „Molekulargehalt" (m) einer Lösung den Quotienten aus dem Gehalt eines Liters an Grammen und dem Molekulargewicht des Elektrolyten, ferner als „specifisches Leitungsvermögen" das Verhältnis des Leitungsvermögens zu diesem Molekulargehalt, und endlich als „lineare Dichtigkeit der elektrolytischen Moleküle" die Anzahl von diesen, welche durch eine Linie von der Länge 1 getroffen werden (darstellbar durch $\sqrt[3]{m}$), so stellt sich heraus, dass die Änderungen des specifischen Leitungsvermögens bei wechselnder Concentration ungefähr der linearen Dichtigkeit proportional sind. Vergleicht man ferner das specifische Leitungsvermögen verschiedener Elektrolyte miteinander, so findet man, dass dieses mit den Wanderungsgeschwindigkeiten der Jonen in einer gewissen Beziehung steht. So gilt die Reihenfolge der Elemente *H, K, Na, Li,* sowohl wenn die Abnahme der Leitungsfähigkeit gleichartiger Salze, als auch, wenn die Abnahme der relativen Geschwindigkeit der Jonen bei Abscheidung aus gleichartigen Elektrolyten (z. B. Chlorüren) in Betracht gezogen wird. Diese Thatsache lässt sich schliesslich in den Satz zusammenfassen, dass das Leitungsvermögen sich aus den Beweglichkeiten der einzelnen Jonen additiv zusammensetzt. Für verdünnte Lösungen von Elektrolyten mit einwertigen Säuren kann dies Gesetz auch so ausgesprochen werden, dass jeder Bestandteil seine eigentümliche Beweglichkeit besitzt, unabhängig davon, welches die Verbindung ist, in der er vorhanden ist. Auch auf die absolute Geschwindigkeit der Jonen haben sich Schlüsse ziehen lassen, denen zufolge z. B. bei einer Triebkraft von 1 Volt auf 1 mm Länge die mittlere Geschwindigkeitskomponente in der Stromrichtung für *H* 0,3, für *K* oder *Cl* 0,06, für *Li* 0,028 mm/sec. beträgt. Interessant ist, dass gut leitende Elektrolyte meist auch ein starkes Diffusionsvermögen haben, und umgekehrt; es trifft also die leichtere elektrolytische Beweglichkeit der Teilmoleküle mit einer grösseren Beweglichkeit auch der ganzen Moleküle zusammen. Eine ähnliche Beziehung hat sich endlich auch zwischen dem Leitungsvermögen und der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit gezeigt. Eine Vorstellung von dem Grunde dieses gleichartigen Verhaltens lässt sich im Anschlusse an eine Clausius'sche Hypothese gewinnen, wenn man nämlich annimmt, dass in einem Elektrolyten von den gelösten Molekülen eine Anzahl bereits dissociiert sei, und dass die freien Teilmoleküle sowohl die ersten Angriffspunkte für die elektrischen Kräfte darbieten als auch der chemischen Aktion zum Ausgang dienen.

Den hier skizzierten Darlegungen sind wertvolle Andeutungen über die Probleme hinzugefügt, die zunächst Lösung verlangen, und für welche die physikalische Chemie sich als das geeignetste Forschungsfeld erweisen wird.

---

3. *Unterricht und Methode.*

Der Wert des praktischen physikalischen Arbeitens für die Erziehung. In einer Rede, die bei der vorletzten Jahresfeier der „freien" Hopkins-Universität in Baltimore gehalten worden ist, hat der hervorragende Physiker Henry A. Rowland die Bedeutung des physikalischen Laboratoriums für die Erziehung behandelt. Wenngleich unsere Schulverhältnisse weit davon entfernt sind, eine Verwirklichung des darin ausgesprochenen Gedankens zuzulassen, so sind doch die geltend gemachten Gesichtspunkte an sich auch für uns von Interesse. „Der unwissenschaftliche Geist unterscheidet sich von dem wissenschaftlichen darin, dass er Behauptungen aufstellt oder sich gefallen lässt, für die er keine klaren Begriffe mitbringt, und deren Wahrheit ihm nicht verbürgt ist." — „Wenn die

Erziehung diesen Fehler beseitigen soll, so muss sie eine Norm (standard) der absoluten Wahrheit darbieten, welche dem Geiste unmittelbar nahe gebracht werden kann". Das Beispiel Galileis wird als vorbildlich hingestellt: „Man lasse den jugendlichen Geist der Natur gegenübertreten; lasse sein Denkvermögen an den einfachsten physikalischen Erscheinungen sich üben und dann selber seine Ansichten der praktischen Prüfung unterwerfen. Das Resultat wird unfehlbar Bescheidenheit sein, denn es wird sich zeigen, dass die Natur Gesetzen folgt, die nur durch mühevolle Arbeit, nicht durch den ungezügelten Flug der Phantasie gefunden werden können". — „Von dem grossen Faraday wird erzählt, dass er niemals ein Experiment völlig habe verstehen können, als bis er es selber nicht nur gesehen, sondern auch ausgeführt habe. Sollen wir erwarten, dass unsere Kinder leisten, was Faraday nicht vermochte?" — „Der Zweck der Erziehung ist nicht nur das Wissen, sondern auch das Können; es sollen Menschen herangebildet werden, welche die Probleme der Natur und des menschlichen Lebens anzugreifen und zu lösen im Stande sind; nicht Männer der Theorie, sondern Männer der That. Aus der Beschäftigung mit dem Experiment, aus der Bearbeitung von Problem auf Problem erwächst jener wissenschaftliche Geist, der die heutige Wissenschaft geschaffen hat und der dazu berufen ist, die Probleme der Zukunft zu lösen". *(J. Hopk. Univ. Circ. vol. V, No. 50)*. Diese wenigen Bruchstücke lassen erkennen, mit welcher Energie und mit welcher Weite des Blickes Rowland seine Idee erfasst hat. Für uns legen sie mindestens die Erwägung nahe, auf welche Weise die bei Knaben vielfach vorhandene Neigung zum Experimentieren in die richtigen Bahnen gelenkt und für die Gesammtausbildung nutzbar gemacht werden kann. Bisher fehlt es unseres Wissens selbst an einer geeigneten Anleitung, da die vorhandenen litterarischen Hülfsmittel entweder über dem Standpunkt des Schülers stehen oder aber, wo dies nicht der Fall ist, ihre Aufgabe nicht ernst genug auffassen. Wir werden gern von allem, was in dieser Richtung förderlich sein kann, Notiz nehmen.

Die Behandlung des chemischen Lehrstoffes beim Unterricht. Über dieses Thema bringt das *Centralorgan f. d. Int. d. Realschulwesens, begr. von Max Strack, 1887 No. 6* einen Aufsatz von F. WILBRAND (Hildesheim), der sich in seiner Grundidee wie in seiner Ausführung mit unserem Plan einer logischen Durchbildung des naturwissenschaftlichen Unterrichts nahe berührt. Der Verfasser zweifelt, dass es möglich sein wird, dem Unterrichte in der Chemie die Arbeiten zu Grunde zu legen, durch welche die wichtigsten Elemente und Verbindungen thatsächlich entdeckt wurden. Er hat sich vielmehr die Aufgabe gestellt, den Lehrstoff selbst in die Form von induktiven Untersuchungen zu bringen. Seine Entwicklung der Eigenschaften der englischen Schwefelsäure muss als ein mustergültiges Beispiel dieser Art bezeichnet werden. Aus dem Verhalten des Vitriolöls zu verschiedenen Metallen *(Cu, Zn, Fe, Hg)* und Metalloxyden wird die chemische Constitution der genannten Säure erschlossen, und zwar geschieht dies durch eine Verknüpfung von Denkoperationen und Experimenten, welche in dem Schüler neben dem gespanntesten Interesse die unmittelbare Freude des Entdeckens hervorrufen müssen. Das Verfahren ist ein induktives im strengen Sinne des Wortes; der Verfasser führt die Untersuchung noch weiter bis zu dem Satze: „Die Metallvitriole entstehen durch Eintreten von Zink, Eisen, Kupfer, Quecksilber an die Stelle von Wasserstoff in der Schwefelsäure" und schliesst mit der Fragestellung, ob eine Erweiterung dieses Satzes für die Bildung der Salze im allgemeinen zulässig sei. Die eingestreuten Bemerkungen logischen Charakters tragen noch dazu bei, den Eindruck zu erhöhen, dass in dem hier bearbeiteten Abschnitt des chemischen Lehrstoffes ein wertvoller Beitrag zur Methodik des naturwissenschaftlichen Unterrichts dargeboten wird.



Neu erschienene Bücher und Schriften.

Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik. Nebst einer Anleitung zum Studium mathematischer Wissenschaften. Von Dr. E. Dühring. Dritte, wiederum erweiterte und theilweise umgearbeitete Auflage. Leipzig 1887. Fues. XXVIII und 610 S.

„In jeder Wissenschaft kann die Geschichte ihres Werdens mehr oder minder eine indirekte Anweisung für das Studium sein. Die gesichtete Darlegung der Bestandstücke, aus denen nach und nach das schliesslich vorhandene Ganze geworden ist, macht die natürliche Stufenfolge sichtbar, in welcher von den einfacheren und unmittelbareren Anschauungen zu den letzten Abstraktionen und kunstreicheren Methoden fortgeschritten wurde. In ganz besonderem Maasse gilt nun diese Nützlichkeit der Wissenschaftsgeschichte für das Studium der gesammten Mechanik, so dass man behaupten darf, die historische Darstellung selbst bilde in ihren Hauptausgangspunkten eine natürliche erste Einleitung in das Gebiet. In der That war Letzteres auch kein Nebengesichtspunkt bei der Abfassung der vorliegenden Schrift gewesen“. (S. 581). Auch in dieser neuesten Auflage bekundet sich wiederum Dühring's ausdauernde Kraft, jene ursprünglichen Bestandstücke unserer Wissenschaft zu vermehren. Nachdrücklicher noch als früher sind im Verlaufe der Geschichtsdarstellung die Probleme und Fragen hervorgehoben, welche vermöge der individuellen Begabung jedes einzelnen Forschers zunächst unerledigt bleiben mussten. Solchen Ausblicken reihen sich an schicklichen Stellen Hinweise auf die von beiden Dühring (Vater und Sohn) gewonnenen neuen Resultate an, soweit dieselben einen prinzipiellen Charakter haben (vgl. „Neue Grundgesetze zur rationellen Physik und Chemie. Erste und zweite Folge“, sowie „Neue Grundmittel und Erfindungen zur Analysis, Algebra, Funktionsrechnung und zugehörigen Geometrie“). So wird S. 424 die Notwendigkeit betont, „auf die Angriffsgegenstände der Kräfte, zunächst also auf die mechanische Linie einzugehen“; so findet sich S. 492 eine Kritik des Oscillationsbegriffs. Ein völlig neu hinzugefügter Artikel (210) beschäftigt sich mit der „natürlichen Abstufung der Methoden“, er fordert ein „besseres Verhältnis für die Anteile von Rechnung und Construktion“, und das „Voranstehen sachlicher Untersuchung.“ Es heisst da: „Der rein begriffliche Leitfaden bewegt sich nämlich noch um eine Stufe höher in der Abstraktion als der analytische, und die Natur der Aufgabe wird jedesmal den nötigen Stoff an abstrakten sachlichen Ausgangsbegriffen liefern.“ (S. 567). In dem Vorwort (S. XVII) wird endlich noch „eine abstraktere und höhere Fassung für die gesamte Mathematik und deren Anwendungen“ in Aussicht gestellt. *Sn.*

Grundriss der Naturlehre für die unteren Klassen der Mittelschulen von Dr. E. Mach, o. ö. Prof. an der deutschen Karl Ferdinands-Universität in Prag und Dr. Joh. Odstrcil, Prof. am k. k. deutschen Staatsgymnasium in Teschen. Ausgabe für Gymnasien. Mit 348 Abbildungen. Prag, 1887. F. Tempsky. IV und 231 S.

Die Grundsätze, nach welchen dieser kleine Leitfaden bearbeitet ist, werden von den Verfassern selbst folgendermaassen ausgesprochen: 1) Wir gehen überall von den Erscheinungen aus, so dass sich die Begriffe in der natürlichsten Weise, sozusagen von selbst ergeben. 2) Wir benutzen nach Möglichkeit die meist sehr naiven, einfachen und klassischen Beobachtungen und Gedanken, aus welchen die grossen Forscher die Physik aufgebaut haben. Die Darstellung wird hierdurch nicht nur am verständlichsten, sondern das historische Moment fügt sich derselben auch ganz natürlich und nicht bloss äusserlich ein. 3) Wir streben nach einer möglichst zusammenhängenden Darstellung. Der Schüler soll bei jedem Satz, den er lernt, an seine vorher erworbenen Kenntnisse erinnert werden, dieselben anwenden und ihren Wert fühlen lernen. 4) Die Erscheinungen werden nicht nur in besonderen Einzelformen vorgeführt, sondern wo es thunlich und nützlich ist, versuchen wir dem Schüler einen Ueberblick über die möglichen Fälle zu geben.

Von diesen Grundsätzen sind vorzüglich die ersten beiden dazu geeignet, eine über das bisher vielfach Uebliche hinausgehende Behandlung des physikalischen Unterrichts zu



Wege zu bringen; der erste ist namentlich in der Wärmelehre, der zweite in der Mechanik zum Ausdruck gekommen. Die Wärmelehre geht gleich nach den einleitenden Auseinandersetzungen über thermische Ausdehnung dazu über, die Begriffe Temperatur, Wärmemenge und specifische Wärme zu entwickeln; dann erst folgen die Aenderungen des Aggregatzustandes, schliesslich die Quellen der Wärme. In der Mechanik ist der historische Gesichtspunkt in durchgreifender Weise zur Geltung gebracht; so ist die schiefe Ebene an Stevin's Betrachtung der über eine solche gelegten Kette angeknüpft, die Hebelgesetze werden aus der Drehung eines Körpers um einen festen Punkt (Varignon) abgeleitet. Zur Erläuterung der Fallgesetze wird auf Galilei's klassische Ueberlegung zurückgegangen: Galilei (1638) hat vermutet, dass die Geschwindigkeit fallender Körper proportional der Fallzeit zunimmt" (S. 77). — „Nun handelt es sich darum, durch den Versuch zu ermitteln, ob Galilei's Vermutung zutrifft" (S. 78). Hierauf folgt der Versuch an der Fallrinne mit einer zweckmässigen Abänderung. (Deutlicher hervorzuheben wäre wohl gewesen, dass die Bestätigung der „Vermutung" von Galilei selbst herrührt; auch sei erinnert, dass die eigentümliche Ableitung des Satzes: grosse und kleine Körper fallen gleich schnell, schon von Benedetti gegeben worden ist). In der Hydrostatik ist u. a. Stevin's Fiktion eines starren Körpers zur Ableitung der Druckverhältnisse benutzt. — Unter den übrigen Abschnitten ist besonders der „von den chemischen Vorgängen" als recht reichhaltig und durch manche Abweichungen von dem traditionellen Gange ausgezeichnet hervorzuheben. Doch dürfte es sich empfehlen, die (S. 29) aufgezählten 5 Grundgesetze der chemischen Erscheinungen nicht sofort als aus dem einen Versuch über die Verbindung von *S* und *Fe* sich ergebend hinzustellen. In der Elektricitätslehre findet sich ein sehr origineller Versuch zur Demonstration des Coulomb'schen Gesetzes. Auch zwei Abschnitte über „Erscheinungen am Himmel" und „Erscheinungen in der Atmosphäre" sind dem Buche beigegeben, das als ein beachtenswerter Markstein auf dem Wege zu logisch-historischer Vertiefung des physikalischen Unterrichtes angesehen werden muss. *P.*

Über die Zukunft der Mathematik auf unsern Gymnasien. Von K. H. Schellbach. Berlin, G. Reimer, 1887. 34 S.

Der Verfasser hat sich bereits vor mehr als zwanzig Jahren in einem Programm „über den Inhalt und die Bedeutung des mathematischen und physikalischen Unterrichts auf unsern Gymnasien" (Berlin, 1866) ausgesprochen, mit einer Begeisterung, die auch heut noch jedem Leser des Aufsatzes sich mitteilt. Von derselben Begeisterung, „die selbst im spätesten Alter nicht erkaltet", und „deren der wissenschaftliche Forscher ebenso fähig ist als der Künstler und Dichter", ist auch die neueste kleine Schrift Schellbach's erfüllt. Ihr Hauptinhalt ist das Verhältnis der Mathematik zu den klassischen Sprachen. Bei diesem Anlass fällt manches treffliche Wort über Physik und physikalischen Unterricht. Wir heben die folgende Stelle hervor: „das wäre kein Lehrer der Mathematik für unsere Gymnasien, der seinen Schülern nicht sagen könnte: „Seht, mit dieser Formel [v^2/r] könnt ihr Wunder thun! Ihr könnt berechnen, aus wieviel Erdkugeln die Sonne besteht; wie hoch ihre Atmosphäre hinaufreicht, und ob diese selbst das Zodiakallicht ist; ferner wieviel ihr specifisches Gewicht beträgt. Aus der blossen Umlaufszeit des Mondes könnt ihr seine Entfernung von der Erde finden" u. s. w. Anderes, wie die Auseinandersetzung über die Anwendung unendlich kleiner Strahlenkegel und über die Rolle der Kegelschnitte in der Optik erwähnen wir nur, da wir hoffen, von dem Meister des Faches selber bald ausführlichere Mittheilungen aus diesem Gebiet bringen zu können. Freudig stimmen wir seiner Forderung zu, *„die Naturwissenschaften haben mit Hülfe der Mathematik die Welt umgestaltet, und unsere Schüler sollen begreifen lernen, wie das möglich war"*. *P.*

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Otto Lange in Berlin C.



Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

I. Jahrgang. Dezember 1887. Zweites Heft.

Die Aufgaben des chemischen Unterrichts.

Von
Prof. Dr. **B. Schwalbe** in Berlin.

Noch vor wenigen Jahzehnten erschien es auffällig auszusprechen, dass nicht die Sprachen allein erziehende und bildende Kraft besässen, sondern dass auch andre Gegenstände wie namentlich die Naturwissenschaften, die dem jugendlichen Interesse näher liegen und mit dem Leben in engerem Zusammenhang stehen, ähnliches für die Erziehung zu leisten imstande wären, wenn auch auf anderem Wege. — Die Schwierigkeit den Nachweis hierfür zu liefern, ist dadurch besonders gross, dass bisher den naturwissenschaftlichen Fächern Zeit und Gelegenheit zur vollen unterrichtlichen Entfaltung nur in sehr beschränkten Grenzen gegeben waren, andrerseits auch die Lehrkräfte, welche dieselben vertraten, nicht immer ihre Aufgabe voll erfassten und durchführten. Jetzt wird die Frage nicht nur bei uns, sondern in allen Staaten mit geregelten Schuleinrichtungen erörtert; und den Naturwissenschaften ist die nicht leichte Aufgabe zugefallen, die Einwände, die gegen ihre Erweiterung als Unterrichtsgegenstände gemacht werden, oft freilich von Personen, die sich nur wenig mit der neueren Entwicklung der Naturwissenschaften beschäftigt haben, zu widerlegen. Die allgemeine Frage zu behandeln, was kann und könnte der naturwissenschaftliche Unterricht leisten, würde Zweck und Ziel dieser Zeitschrift weit überschreiten, da diese spezielle Zweige der Naturwissenschaften in fachwissenschaftlicher und pädagogischer Richtung zu fördern bestimmt ist. In kurzen Umrissen habe ich jene Frage bei der Naturforscherversammlung in Wiesbaden auseinandergesetzt[1]), wozu ich durch jahrelange praktische Beschäftigung mit dem fremdsprachlichen und naturwissenschaftlichen Unterricht geführt war; die Frage aber, welche eigentümliche Aufgabe jedem einzelnen naturwissenschaftlichen Zweige gestellt sei, und welche Rolle der einzelnen Wissenschaft im Jugendunterrichte zufalle, konnte nur gestreift werden, und so kann es nicht ungerechtfertigt erscheinen, hier die Aufgaben des chemischen Unterrichts, dessen Förderung mit zu den Zielen dieser Zeitschrift gehört, kurz zusammenzustellen.

Es kann sich dabei nur um den Unterricht an Schulen handeln, denn der Universitätsunterricht ist bisher so gegen den Schulunterricht abgegrenzt gewesen, und eine chemische Vorbildung für die einzelnen Fachstudien (Verwaltungsfach, Medizin) wird so ganz und gar nicht vorausgesetzt, dass diese Einschränkung in sich gerechtfertigt ist. Wünschenswert wäre es wohl, dass Universität und Schule sich mehr in Berührung setzten, und erstere sich nicht scheute, elementare Kurse für einzelne Fächer (Englisch, sphärische Trigonometrie und mathematische Geo-

[1]) Vergl. das Tageblatt der letzten Naturforscherversammlung, Sitzung der Sektion für naturwissenschaftlichen Unterricht am 21. September d. J.



graphie, analytische Geometrie, Griechisch etc.) einzurichten, die den Studierenden Gelegenheit geben würden, sich die notwendigen Kenntnisse in Fächern anzueignen, die nicht für das eigene Fachstudium unmittelbar erforderlich, für die Gesamtausbildung aber notwendig sind, wie es in einzelnen Fällen schon geschehen ist.

Der chemische Unterricht ist heutzutage, von den Fachschulen mit besonderen Zwecken abgesehen, ein integrierender Bestandteil sämtlicher höherer Schulen, einschliesslich der höheren Bürgerschulen, der gehobenen mehrklassigen Volksschulen und in etwas modifizierter Form auch der höheren Töchterschulen und Gemeinde-Mädchenschulen. Noch vor wenigen Jahrzehnten war er dem Gymnasialunterricht fremd, und es konnten die gelegentlichen Bemerkungen und vereinzelten Experimente, die an einzelnen Schulen gemacht wurden, irgend ein Verständnis nicht erzielen. Daher erklärt es sich, dass auch heute noch für die meisten Kreise die Chemie etwas Fremdartiges, Unverstandenes hat, und jede Kenntnis darin als Fachkenntnis aufgefasst wird.

Für die Gymnasien haben die neuen Lehrpläne vom 31. März 1882 eine Wandlung geschaffen, während für die Volksschulen schon durch die allgemeinen Bestimmungen vom 15. Okt. 1872 die Möglichkeit zur Unterweisung in Chemie gegeben war, und diese für die damals projektierten Mittelschulen, die nicht zur Ausführung kamen, vorgeschrieben wurde. Bei beiden Schulkategorieen ist der chemische Unterricht aufs innigste mit dem physikalischen verknüpft, wird von denselben Lehrkräften erteilt und ist auf ein Halbjahr beschränkt; er liegt bei den Gymnasien auf der untersten Stufe, auf welcher erklärende Naturwissenschaften (Physik, Chemie) getrieben werden, bei den Gemeindeschulen auf der höchsten. An den Realgymnasien, Ober-Realschulen und höheren Bürgerschulen wird der Unterricht mit bestimmter Stundenzahl in den obersten Klassen selbständig durchgeführt, nur dass mit ihm der Unterricht in der Mineralogie eng verknüpft ist. Dieser ist wiederum an den Gymnasien vom Chemieunterricht vollständig getrennt und geht demselben voran (O III), während bei den Mittel- und Volksschulen in dieser Beziehung grössere Freiheit gelassen ist. Die Stundenzahl, welche auf den chemischen Unterricht verwandt werden kann, ist 2 St. für das Gymnasium (ein Halbjahr), 2 St. für das Realgymnasium in O II und I (während dreier Jahre), 3 St. in den Ober-Realschulen während derselben Zeit, 2 St. in der ersten Klasse der höheren Bürgerschule und 2 St. (ein Halbjahr) in den mehrklassigen Gemeindeschulen. Der den Unterricht erteilende Lehrer ist bei den Gymnasien in weitaus den meisten Fällen der mathematisch-physikalische Lehrer der oberen Klassen, bei den Realgymnasien und Ober-Realschulen ein Fachlehrer für beschreibende Naturwissenschaften und Chemie, der eine oder der andere bei den höheren Bürgerschulen, während bei den Gemeindeschulen eine Trennung des Unterrichts nach Fächern überhaupt nicht in derselben Weise wie bei höheren Schulen stattfinden kann. Auf letzteren Unterricht, sowie den an höheren Töchterschulen, an denen die Ziele ganz besondere sein müssten, soll hier nicht näher eingegangen werden, zumal da die allgemeinen Prinzipien dieselben sind wie für die anderen Lehranstalten. Bei den Lehrkräften wird eine speziellere chemische Vorbildung, gegründet auf eigne praktische Arbeiten resp. Originaluntersuchungen nur von den Lehrern an Realgymnasien und Oberrealschulen verlangt, da der Fall, dass die drei Fakultäten, Mathematik, Physik, Chemie, zugleich bis I erlangt werden, zu den Ausnahmen gehört; an Realgymnasien (und Oberrealschulen) ist auch die Möglichkeit gegeben, die Schüler zu den praktischen Arbeiten anzuleiten (wöchentlich 2 St. fakultativ



in I). Viele Lehrer werden daher den chemischen Unterricht übernehmen müssen, ohne von vornherein an die Beherrschung der experimentellen Seite gewöhnt zu sein.

Was die Ziele des chemischen Unterrichts anbetrifft, so wird verlangt: an Gymnasien „Kenntnis der einfachsten Lehren der Chemie", an Realgymnasien „Kenntnis der wichtigeren Elemente und ihrer anorganischen Verbindungen, so wie der stöchiometrischen Gesetze" (an den Ober-Realschulen ausserdem „die Kenntnis der wichtigsten Stoffe der organischen Chemie"), an höheren Bürgerschulen „eine durch Experimente vermittelte Kenntnis der bekanntesten chemischen Elemente und ihrer hauptsächlichsten Verbindungen". Die gewünschte methodische Ausführung des Unterrichts ist bei den Gymnasien dadurch angedeutet, dass der Unterricht der Sekunda zugewiesen ist, wo diejenigen Zweige der Physik, welche vorzugsweise experimentelle Behandlung gestatten (Elektricität, Magnetismus, Wärme) getrieben werden sollen, „womit ein kurzer chemischer Lehrkursus zu verbinden ist", so dass jedenfalls das Experiment in den Vordergrund treten muss; die Zeit hierfür soll durch Einschränkung der Behandlung des Abschnitts „von den allgemeinen Eigenschaften der Körper" gewonnen werden. Bei den anderen Unterrichtsanstalten wird auch die experimentelle Methode betont, besonders aber die Frage hervorgehoben, ob es sich nicht empfehlen würde, in OII einen mehr propädeutischen Unterricht und in I erst einen systematischen zu geben, damit die abgehenden Schüler einen gewissen, für das praktische Leben wichtigen Abschluss erreicht haben.[2]) Da jetzt der Hauptabgang aus Untersekunda stattfindet, wäre es, wenn ein Versuch mit diesem propädeutischen Cursus gemacht werden sollte, wünschenswert in Untersekunda im Anschluss an die Physik, z. B. in Anlehnung an die Molekularphysik, einen solchen einstündigen, allgemeinen Cursus zu gestatten, der viel Anregung und Interesse bieten und dem systematischen Unterrichte vorarbeiten könnte, ohne ihm nachteilig zu sein. Selbst wenn dieser Cursus fakultativ gemacht würde, würde sich bei richtiger Einrichtung desselben eine lebhafte Beteiligung seitens der Schüler ergeben.

Die für den chemischen Unterricht erforderlichen Lehrmittel, die hier unentbehrlicher sind, als selbst bei dem physikalischen Unterricht, können beinah überall, wenn auch in bescheidenem Maassstabe, beschafft werden, da die chemischen Experimente verhältnismässig wenig Kosten verursachen; freilich muss aber fortlaufend für Ersatz gesorgt werden, da der Verbrauch ein laufender ist. An den Gymnasien ist der Lehrapparat ganz mit dem physikalischen vereinigt, und reichen dort für die Chemie die vorhandenen Mittel vollständig aus, wenn nur darauf gesehen wird, dass diese nicht ausschliesslich der physikalischen Sammlung zugewandt werden; auch sind wohl noch nicht überall die erforderlichen, einfachsten Apparate vorhanden, ein Übelstand, der leicht beseitigt werden könnte. An den Realgymnasien, die Physik und Chemie in ausgedehnterer Weise pflegen, waren früher die Lehrzimmer beider Disciplinen oft vereinigt, auch jetzt geschieht dies häufig noch der Ersparnis wegen, wenngleich die Mehrkosten für die Trennung nicht bedeutend sind nnd beide Unterrichtsgegenstände wesentlichen Vorteil aus der räumlichen Trennung ziehen würden. Modelle und Zeichnungen, die namentlich den technologischen Teil des chemischen Unterrichts unterstützen können,

---

[2]) „Einem solchen Unterrichte würde dann die Einführung in die ersten Grundgesetze der Chemie zufallen im Anschluss an die Experimente, welche die wichtigsten Elemente unter den Nichtmetallen und Metallen und deren hauptsächlichste Verbindungen in ihren Kreis ziehen."

sind wenig verbreitet, da die ausgesetzten Mittel (100 bis 800 M. jährlich) dann leicht aufgezehrt werden, wenn Arbeiten im Laboratorium seitens der Schüler stattfinden, von denen öfters sogar noch gesonderte Beiträge erhoben werden. Lehrbücher der verschiedensten Art sind fast überall eingeführt; an Realgymnasien und höheren Bürgerschulen besondere für Chemie, während an Gymnasien meist der kurze chemische Abschnitt, der bei vielen physikalischen Schulbüchern eingeschoben ist, gebraucht wird.

Dies sind in kurzen Umrissen die äusseren Bedingungen, unter denen der chemische Unterricht erteilt wird, Bedingungen, die im Vergleich mit früheren Verhältnissen ungleich günstiger geworden sind, namentlich, wenn das Geforderte wirklich erfüllt wird, mit den für andere Unterrichtsgegenstände bestehenden Verhältnissen aber zusammengehalten, immerhin noch für die vollständige Entwicklung nicht günstig genug.

Die Aufgabe des chemischen Unterrichts, die den Schulen zufällt, ist hiernach eine ziemlich einfache: „eine mehr oder weniger umfangreiche Kenntnis der Grundlehren der Chemie (auf Grund des Experiments) und Kenntnis der wichtigsten chemischen Stoffe“; alles andre ist unbestimmt gelassen. Wie weit dieser Aufgabe genügt wird, soll nicht näher untersucht werden, sprechen doch dabei ausserordentlich viele Nebenumstände mit, so dass eine allgemeine Beantwortung der Frage nicht gut möglich ist.

Die Aufgabe eines Unterrichtsfachs ergiebt sich zunächst aus der allgemeinen Aufgabe der ganzen Kategorie von ähnlichen Fächern, welche in dem heutigen Unterrichtssysteme vertreten sind. Da dieses hauptsächlich auf den sprachlichen Fächern aufgebaut ist, so fällt dem naturwissenschaftlichen Unterrichte ein Einfluss auf die gesamte Heranbildung der Jugend nur in geringem Maasse zu. Die Bestrebungen letzterem eine breitere Basis zu verschaffen, gehen nicht dahin, die ersteren zu beseitigen, sondern dem ganzen Unterrichte eine zweite Basis zu geben, da der sprachliche Unterricht vieles für unsere jetzige Entwicklung nicht leisten kann, Viele auch leichter unter Zuhilfenahme anderer Wissenschaften gebildet und erzogen werden können. Dieser Weg, die naturwissenschaftlichen Fächer und so auch die Chemie mit den sprachlichen zu vergleichen in Inhalt und Methode, und die einzelnen Vorzüge abzuwägen, soll hier nicht eingeschlagen werden; derselbe würde zu weit führen oder vielleicht auch auf schematische Darstellungen leiten, die nur subjektiven Wert haben, wie solche von andrer Seite grade in Beziehung auf den Inhalt der Chemie gemacht und als wahr verkündigt sind.

Wenn Jemand den ganzen Inhalt der Chemie in den einfachen Gleichungen $ab + cd = ac + bd$ oder $= ad + bc$ oder einfacher in $ab + c = ac + b$ erblickt und behauptet, dass, da alle chemischen Processe sich nach diesem Schema wiederholen, der Schluss zu ziehen sei, eine solche Wissenschaft könne in kurzer Zeit erledigt werden und dürfe nicht den Anspruch erheben im Schulunterricht berücksichtigt zu werden[3]), so zeigt dies von einer Auffassung der Wissenschaft, die nie das Wesen derselben hat erkennen lassen. Abgesehen davon, dass dabei nicht einmal die Verschiedenartigkeiten der Stoffe Berücksichtigung finden, so liegt darin auch ein vollständiges Übersehen der Bedingungen, unter denen die Wirkungen eintreten, der Beziehungen, die sie zu anderen Erscheinungen haben, und der

[3]) Dies ist im wesentlichen die Deduktion in Schmid's Encyklopädie 1859, T. I, p. 476, in einem Artikel, der dabei zugleich an Fülle des Stoffes ausserordentlich viel verlangt, und dessen Standpunkt durch die am Schluss gegebene Litteratur charakterisiert ist.



unendlich mannigfaltigen aber doch unter sich in Zusammenhang stehenden Eigenschaften: mit demselben Recht könnte man den Inhalt der Sprachwissenschaften auch für erschöpft erklären durch eine Reihe von Permutationen der einzelnen Buchstaben; beide Arten der Auffassung müssen zu einer ganz falschen Vorstellung von dem pädagogischen Wert der Wissenschaften führen, da deren Inhalt ignoriert wird.

Es ist richtig, eine Aufgabe des chemischen Unterrichts ist es, den Lernenden mit den wichtigsten stofflichen Veränderungen, der Verschiedenartigkeit der Stoffe, den bei den Umsetzungen stattfindenden allgemeinen Gesetzen bekannt zu machen. Langer Zeit hat es bedurft, bis diese einfachen stofflichen Änderungen auf Gewicht und wenige Grundstoffe bezogen werden konnten, vielfach hielt man die Erscheinungen nur für Umwandlungen, nur für Änderungen äusserer Eigenschaften, und die Vorstellung von dem, was eine chemische Verbindung ist, wie sie sich vom Gemisch, von einer Lösung unterscheidet, von der Wahrheit, dass Stoffe nur aus andren abgeschieden oder durch Vereinigung andrer, aber niemals neu entstehen, von dem Gesetz der Erhaltung der Materie, ist nur allmählich seit Mitte des vorigen Jahrhunderts ein Eigentum der Fachvertreter und später weiterer Kreise geworden, ohne selbst heut zu Tage als Gemeingut aller Bildung gelten zu können; für viele ist die Chemie auch heute noch die Wissenschaft wie früher, „wo man nach unendlichen Recepten das Widrige zusammengoss“.

In der That ist es nicht leicht, dem Anfänger eine sichere Vorstellung von dem Wesen eines chemischen Processes zu geben; die Vorstellung, dass durch Vereinigung zweier Stoffe mit besondren Eigenschaften ein neuer mit ganz andren Eigenschaften entsteht, der die ersten Stoffe in ganz bestimmten Mengen enthält, liegt den meisten vollständig fern. Die chemischen Processe in der Natur sind entweder zu compliziert, wie Verbrennung, Verwesung, oder zu wenig auffallend, wie das Rosten des Eisens, als dass sie für den Lernenden Gegenstände des Nachdenkens geworden wären, so dass die Erfahrung, die der Schüler mitbringt, den Anfangsunterricht in der Chemie viel weniger zu unterstützen vermag, als es bei der Physik der Fall ist. Dazu kommt, dass grade die alltäglichsten Erscheinungen als selbstverständlich hingenommen werden und die Menschen weniger zum Nachdenken anreizen als besondere Ereignisse. Deshalb sind dem Anfänger die Grundbegriffe an besonderen Versuchen, denen vorzüglich feste Körper zugrunde zu legen sind (*Fe, S, Cu, J, Hg*) klar zu machen; die Gase (*O, H, Cl*), wo sie in Mitwirkung treten, müssen in ihren Eigenschaften dem Schüler gezeigt werden, so dass er möglichst bald den gasförmigen Zustand richtig auffassen lernt. Von den Wirkungen der Gase auszugehen und gar die Volumverhältnisse als Ausgangspunkt zugrunde zu legen, mag für den Universitätsunterricht zweckmässig sein, für den Schulunterricht empfiehlt sich dies nicht, auch schon aus dem Grunde, weil die dabei erforderlichen Apparate für den Schüler nicht einfach genug sind. Um die Begriffe: Element, chemische Verbindung, ihre Verschiedenartigkeit, das Gesetz der multiplen Proportionen klar zu machen, wird man eine ganze Reihe Experimente als belegend und zur Repetition anzustellen haben; es wird zu zeigen sein, wie ein Element in einer Verbindung seine Eigenschaften verliert, daraus abgeschieden sofort wieder mit denselben auftritt (*Hg* mit *S* vereinigt, daraus wieder durch Eisen abgeschieden, *J* mit *K* und daraus wieder durch Schwefelsäure oder *Cl* abgeschieden u. s. w.), wie die nach bestimmten Gewichtsverhältnissen dargestellte Verbindung sich weder mit dem einen oder andern Bestandteil weiter verbindet, sondern dieser unverbunden bleibt und seine Eigen-



schaften beibehält (Erhitzen von *FeS* mit *Fe*, oder von *Hg* und *S*, wobei ein Teil von *Hg* ganz unverändert bleibt, Verbindungen von *Cu* mit *S*, *Hg* mit *J*), wie bei diesen Processen Wärmeentwicklung eintritt und der Rückschluss gestattet ist (*CaO* mit H_2O, Schwefelsäure mit Wasser u. s. w.). So gehört es zu den Hauptaufgaben des Anfangsunterrichts, hier klare einfache, nahe liegende Beispiele vorzuführen.

Wie sehr sich dabei zugleich die Beobachtung schärfen, naturwissenschaftliches Denken, das Schliessen aus dem Gesehenen, ausbilden, das Wiedergeben des Verstandenen oder Beobachteten in klarem Ausdruck üben lässt, tritt besonders hervor, wenn Körper mit möglichst charakteristischen Eigenschaften als Ausgangspunkte gewählt werden. Die Unfähigkeit zu sehen und das Gesehene in Worte zu fassen ist eine so grosse, dass nicht genug dagegen geschehen kann, wobei in vielen Fällen die Anleitung zur Zeichnung mit hinzutreten muss, die oft leichter ist als die Beschreibung. Die Übung hierin schliesst sich dem Unterrichte ausserordentlich leicht an, da die ersten Apparate des chemischen Unterrichts sehr einfach und in allen Teilen durchsichtig sind. Dass grade dieser Anfangsunterricht aufs sorgfältigste vorzubereiten und stets aufs neue vom Lehrer zu überlegen ist, liegt auf der Hand, ebenso wie er grade eine ziemlich umfassende Kenntnis des gesamten Gebietes der Chemie erfordert, aus dem die passende Auswahl getroffen werden muss. Da nun diese Zwecke nicht bloss am Anfang, sondern im Laufe der gesamten Ausbildung verfolgt werden müssen, so trägt hierdurch der chemische Unterricht in hervorragendem Grade zur Gesamtausbildung bei und lässt sich nicht durch andre Gegenstände ersetzen.

Dieser ersten Forderung wird, wenigstens für Realgymnasium und Oberrealschule, die weitere hinzugefügt, dass das Verständnis der Umsetzungen auch für die Volumverhältnisse durchgeführt wird. Fruchtbar ist dies besonders durch die Beziehungen zu den physikalischen Eigenschaften, fruchtbar und eine neue Welt erschliessend durch die Möglichkeit, den Atom- und Molekülbegriff scharf abzuleiten, schwierig durch die Compliciertheit der Experimente und den Umstand, dass die Wägungen der Gase sich dem Schüler nicht zur unmittelbaren Anschauung bringen lassen. Soll dieser Abschnitt den Grundbegriffen angeschlossen werden, so müssen jedenfalls die Eigenschaften der betreffenden Gase hinlänglich bekannt sein und ist es zweckmässig, zuerst nur die Verbindungsgesetze der einfachen Gase und die Beziehung des Atomgewichts zum Volumgewicht zu nehmen, die Beziehungen des Molekulargewichts aber auf einer späteren Stufe (in Anschluss an *HCl* und NH_3) hinzuzufügen. Besondere Schwierigkeit macht hier auch das Messen des Volums der entstandenen Verbindung (H_2O, *HCl*, H_3N). Bei Gymnasien kann es zweifelhaft scheinen ob diese Erweiterung der Grundbegriffe ausreichende Berücksichtigung finden kann. — Nicht genug aber kann hervorgehoben werden, dass wenn diese Aufgabe, in dem einen oder andern Umfange, erfüllt werden soll, wenn wirklich bleibendes Verständnis, das mit der geübten und angeregten Beobachtung sich noch erweitern kann, erzielt werden soll, häufige Anwendung des Verstandenen notwendig ist; es muss also auf den Gymnasien bei dem physikalischen Unterricht auf späterer Stufe (und dazu bietet sich Gelegenheit genug) wiederholt angeknüpft werden, es muss durch gelegentliche neue Experimente oder Wiederholung früherer, wie sie sich bei der Wärme, der Elektricität, Optik und Mechanik (Hydro- und Aëromechanik) darbieten, darauf zurückgegriffen werden. Auf diesen methodischen



Teil, namentlich auf Einrichtung von Repetitionsexperimenten hoffe ich bei anderer Gelegenheit zurückzukommen.

Wenn auch die kurz skizzierte wissenschaftliche Grundlage für das Verständnis eines chemischen Processes zu geben, als erste Aufgabe des chemischen Unterrichts bezeichnet werden kann, so ist es unrichtig, darin den Unterricht abgeschlossen zu sehen. Die Anfänge einer Wissenschaft können nur dann fruchtbar werden, wenn dieselben zum Verständnis der praktischen und industriellen Verwertung und der durch die Wissenschaft bedingten Fortschritte, zur richtigen Auffassung anderer Wissenschaften, zum Einblick in die Entwickelung des gesamten Cultur- und Naturlebens in Beziehung treten; dazu müssen sie durch Vermehrung des Unterrichtsstoffes erweitert werden, so dass zugleich von der betreffenden Wissenschaft soviel geboten wird, wie für den in irgend ein Fachstudium Übertretenden erforderlich ist, oder um die Aufgabe kurz zu fassen, es müssten die chemischen Kenntnisse wie sie für die allgemeine Bildung und die Fortbildung für alle Berufszweige erforderlich sind, geboten werden. Um dabei gleich einem Missverständnis zu begegnen, hebe ich hervor, dass der chemische Unterricht nicht zum Studium der Chemie, sondern für jedes Studium vorbereiten soll. Fast keine Wissenschaft, fast kein Beruf kann heute der Chemie entraten, fast überall bauen sich grosse Teile derselben auf der Chemie auf: Medizin, Pharmacie, Drogistik- und Warenkunde, Agrikultur, Berg- und Hüttenwesen, Baufach, verlangen ziemlich weitgehende chemische Kenntnisse, die auch bei denen, die diese Fächer nicht praktisch, sondern verwaltend ausüben, vorausgesetzt werden müssten; für das wissenschaftliche Studium von Zoologie, Botanik und Physiologie sind, wie weit auch der einzelne diese Wissenschaften treiben mag, die elementaren chemischen Kenntnisse notwendig, fast in alle praktischen Berufe greift die Chemie ein: Heizung und Beleuchtung beruhen auf chemischen Processen, und damit hängt ein grosser Teil grossartiger industrieller Erwerbszweige zusammen; bei Schlosserei, Färberei, Bereitung der Nahrungsmittel, Zubereitung des Leders, Herstellung der alkoholischen Getränke, bei fast allen gesundheitlichen Fragen, der Wasser- und Luftfrage, bei der Desinfizierung u. s. w. sind chemische Prozesse zum elementaren Verständnis nötig. Gewiss, vieles würde auf allen diesen Gebieten schneller gefördert werden, viele Massregeln würden segensreicher wirken, wenn Verständnis für chemische Processe, wenn elementare chemische Kenntnisse in weiteren Kreisen vorhanden wären. Um nur ein naheliegendes Beispiel herauszugreifen, so würde die Hygiene viel segensreicher wirken, wenn Kenntnisse der Luft, ihrer Bestandteile, und die Wirkungen der Desinfektionsmittel der Mehrzahl der Bevölkerung zu eigen geworden wären: wenn Jemand die Gründe der Schädlichkeit einsieht, die Wirkung schädlicher Stoffe kennt und die einfachen Mittel der Beseitigung weiss, wird er in vielen Fällen aus eigenem Antriebe das Schädliche vermeiden oder beseitigen. Bei wie vielen Bauten der Neuzeit wären nicht unpraktische Anlagen vermieden, wenn den Erbauern chemisch-naturwissenschaftliche Elementarkenntnisse zur vollen Verfügung gestanden hätten! Solche Fundamentalkenntnisse sollte die Schule geben, solche Processe wie Verbrennung, wie Metallgewinnung, wie Pflanzenernährung etc. deren Anwendung überall Jedem entgegentritt, muss sie zum Verständnis bringen, das ist aber nur möglich durch Erweiterung des Stoffes, der im Unterrichte gegeben wird, und unter der Voraussetzung, dass die erforderliche Zeit zur Verarbeitung vorhanden ist.

Bei der ungeheuren Fülle des Stoffes liegt eine doppelte Gefahr vor: einmal



der Aufgabe in zu eklektischer Weise durch Zusammenstellung einzelner mehr oder weniger pikanter Thatsachen nachzukommen; dann aber kann auch durch die Überfülle des Gegebenen die Durcharbeitung und Festigung gehemmt und Oberflächlichkeit herbeigeführt werden. Beide Gefahren lassen sich vermeiden, wenn der Lehrer verstanden hat, sich mit den einzelnen Gebieten der verschiedenen Wissenschaften und Industrieen im Zusammenhang zu halten, um das Notwendigste, Beste und Geeignetste daraus für den Unterricht zu verwerten. Das einzelne Lehrbuch kann ihm dabei nur wenig Anhaltspunkte geben; es bedarf des Studiums vieler Wissenschaften, und zwar auch der praktischen, um dieser Aufgabe gerecht zu werden.

Der Weg, wie jener grossen Aufgabe genügt werden kann, ist im allgemeinen vorgeschrieben durch die Worte: „Kenntnis der wichtigsten Elemente und ihrer Verbindungen“. Für beschränkte Zeit empfiehlt sich vor allem, bei gewissen Elementen die Darstellung eines Processes in seinen mannigfachsten Verzweigungen und Anwendungen anzuschliessen; so sollte beim Sauerstoff und Kohlenstoff nicht nur die einfache, dürftige Verbrennungs-Definition mit Erklärung der Flamme unter Zugrundelegung der gewöhnlichen Experimente gegeben werden, sondern ein lebensvolles Bild des gesamten Processes in Beziehung zu Beleuchtung, Heizung, Atmung, also zu Industrie und Leben, stets unter Zugrundelegung der Experimente; oder im Anschluss an Phosphor ein übersichtliches Bild der Entwickelung der Mittel sich Feuer zu verschaffen; bei der Salpetersäure geben die Explosivstoffe, beim Chlor die Desinfektionsmittel solche Einzelbilder, die für den Gymnasialunterricht sich besonders empfehlen würden. Auch bei dem Unterricht an Realgymnasien wird dieser Weg neben dem systematischen nicht ausser Acht zu lassen sein, ja es muss auch hier die aufzählende Besprechung der einzelnen Elemente durchbrochen werden und Gruppenbetrachtung, wie es auch schon vielfach geschieht, eintreten. Solche Gruppenbetrachtungen (Halogene, Schwefelgruppe, Alkalimetalle u. s. w.) verhindern die gedächtnismässige Auffassung ganz, welche der chemische Unterricht weniger verlangt, als die sprachlichen Fächer; sie geben Veranlassung zur Auffindung von Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten, zu Schlüssen für das Verhalten eines andern Stoffes, und können methodisch auf das mannigfaltigste und fruchtbringendste verwandt werden. Keine Wissenschaft vermag so das verbindende Glied zwischen den realistischen Wissenschaften zu werden wie die Chemie. Da die Veränderungen des Stoffes stets begleitet sind von Veränderungen der Eigenschaften, da viele chemische Veränderungen nur unter besondern physikalischen Bedingungen eintreten, und ganze Zweige der Physik nur mit Hilfe von chemischen Kenntnissen verständlich werden (Thermochemie, Galvanismus, Photochemie etc.), so kann eine äusserst fruchtbare Wechselbeziehung aufrecht erhalten werden, die auch mit dem biologischen Unterrichte stattfinden kann, eine Wechselbeziehung, die sich ausdehnt auf die praktischen und technologischen Wissenschaften und Berufszweige; in der That kann so dem chemischen Unterrichte die Aufgabe zu teil werden, das Bindeglied zwischen Schule und Leben zu werden, während er zugleich eine Anregung und Inanspruchnahme der geistigen Thätigkeit der Schüler in hervorragender Weise mit sich führt.

Eigentümlich ist es, wie wenig Kenntnisse über Technologie und über die Beziehungen der einzelnen Industriezweige selbst in den Kreisen der akademisch Gebildeten vorhanden sind, wie teilnahmlos viele an den Werkstätten, die so vieles für die materielle und geistige Wohlfahrt leisten, gegenüberstehen! Dennoch soll der chemische Schulunterricht niemals in technologischen, in Kenntnis der



speziellen Ausführung der Gewinnung, Verarbeitung u. s. w. der einzelnen Stoffe, übergehen, oder soll Technologie als besonderer Zweig des Unterrichts auftreten. Wird doch selbst an vielen Universitäten eine technologische, „Wissenschaft und Leben verbindende" Vorlesung nicht gehalten. Der Jugend, dem heranwachsenden Geschlecht, müsste aber eine Ahnung von der grossartigen Entwickelung der Industrie und ihrer umgestaltenden Kraft gegeben werden; der Fortschritt, der durch Entdeckung des Le Blanc'schen Sodaverfahrens, durch Entdeckung des Chlors, Darstellung des Leuchtgases etc. geschehen ist, kann recht wohl in seiner Bedeutung dem Schüler bei Besprechung der betreffenden Körper zum Bewusstsein kommen, während in anderen Orten vielleicht mehr andere Berührungspunkte, wie die mit der Landwirtschaft in Anschluss an Calcium oder die mit der Hüttenkunde in Anschluss an die Metalle, zu ähnlichen Betrachtungen und zu ähnlicher Verwertung benutzt werden können. — Hier könnte auch die Industrie der Schule selbst zur Seite stehen und sie unterstützen, wenn man gestattet dass der Unterricht durch Besichtigung einzelner Industrieanlagen vervollständigt wird und so noch unmittelbarer wirkt; selbst in den kleinsten Städten ist dazu Gelegenheit, eine Gasfabrik, eine Werkstätte für Metallverarbeitung, eine Glasfabrik und Ähnliches findet sich fast überall; der Lernende tritt dadurch dem Leben näher, und weit entfernt, dass ihm der Erwerb als Zweck der Anlage erscheint und dem jugendlichen Geiste dadurch eine materialistische Richtung gegeben wird, führt ihn eine solche Betrachtung zur Bewunderung des schaffenden Menschengeistes und zum Gedanken, dass auch ihm, dem Lernenden, selbst die Aufgabe obliegt, schaffend und strebend zum geistigen und materiellen Wohle des Ganzen beizutragen.

In dieser Richtung vermag der chemische Unterricht eine Sonderheit darzubieten, wie kein anderer; wie die botanischen und zoologischen Excursionen Genuss und Freude an der Natur, Verständnis ihres Schaffens und Wirkens wecken und pflegen sollen und können, so können die sogenannten technologischen Excursionen ein Verständnis moderner Kulturentwickelung und die Neigung daran hingebend mitzuarbeiten, anbahnen.

Auch eine andere Aufgabe kann in Anschluss hieran dem chemischen Unterricht zufallen, praktisches Geschick bei der Ausführung gewisser Gedanken sich anzueignen, wenn eine Unterweisung im praktischen Experimentieren, in den Arbeiten des Laboratoriums gegeben wird.

Wenn man sieht, wie viele Menschen ohne Anleitung nicht die einfachsten Sachen praktisch ausführen können, wie sehr aber andererseits die richtige Ausführung eines Experiments, z. B. die Darstellung des Chlors, zur Schärfung des Urteils, zur Kontrolle der eigenen Handgeschicklichkeit, zur Abwägung des richtigen Augenblicks für den Versuch veranlasst, so wird man zu der Ansicht, dass solche Arbeiten zur Spielerei ausarten, nicht gelangen. Man könnte sehr wohl den Versuch machen, die Schüler Experimente wiederholen zu lassen und daran Auge, Hand und Verstand gleichzeitig zu üben. Wie fruchtbar die Übung in der einfachen Analyse wirken, wie sie zur Wiederholung, zur Bildung eigenen Urteils, zur Auffindung störender Bedingungen dienen kann, ist verschiedentlich hervorgehoben worden[4]); werden diese Arbeiten nur zu einer mechanischen

[4]) Vergl. Richter: Ueber Bedeutung, Umfang und Methodik des chemischen Unterrichts auf dem Realgymnasium, Festschrift zur funfzigjährigen Jubiläumsfeier des Realgymnasiums am Zwinger zu Breslau 1886. S. 139—153 (S. 151 ff).

Anwendung der Fertigkeit, nach bestimmten Tabellen einzelne Körper aufsuchen zu können, die auch ein Laboratoriumsdiener leicht erlangt, so trifft dieser Vorwurf nicht die Wissenschaft, sondern den betreffenden Lehrer; ähnliche Fälle finden sich bei allen Wissenschaften. Auch für den physikalischen Unterricht liesse sich eine ähnliche Einrichtung denken, durch welche die Schüler zur Wiederholung einiger wichtiger Experimente angeleitet und so veranlasst würden, ihre praktische Geschicklichkeit in Beziehung zum wissenschaftlichen Können zu prüfen und die Schärfe der Beobachtung des Gesehenen bei der Wiederholung zu ermessen. Freilich würden hierfür zum Teil besondere Unterrichtsmittel beschafft werden müssen.

Fast unmittelbar ergiebt sich aus dem Vorigen als methodische Hauptaufgabe des chemischen Unterrichts die Anleitung zum induktiven Schliessen, zum Zusammenfassen des Einzelnen zum Allgemeinen. Gerade die Einfachheit der Experimente giebt hierbei der Chemie einen Vorzug vor der Physik, bei der sich oft compliziertere Apparate nicht entbehren lassen, während bei den chemischen Versuchen der Apparat eine viel untergeordnetere Rolle spielt; auch tritt die Hauptsache der Erscheinung in vielen Fällen beim chemischen Experiment leichter hervor, und braucht der Weg der Deduktion nur vereinzelt als der grundlegende beschritten zu werden. Übrigens herrscht in dieser Beziehung kaum ein Zweifel über den Wert des chemischen Unterrichts, und wird in den Erläuterungen zu den neuen Lehrplänen der Wert gerade darin gesehen, „dass die Schüler an einem einfachen Stoffe durch einfache, leicht durchsichtige Versuche in das Verständnis der induktiven Methode eingeführt werden.“ Wie dies bei dem chemischen Unterricht durchgeführt werden und derselbe zur Grundlage einer induktiven Logik werden kann, haben Arendt, Wilbrand[5]) und andere gezeigt. — Die theoretische Auffassung, die Philosophie der Chemie, kann in der Schule nur angedeutet, nicht gelehrt werden, die so errichteten Systeme gehören dem Fachunterricht auf der Universität an; die chemischen Lehren auf Lagerung der Atome, auf Verkettung derselben aufzubauen, kann nur dann fruchtbar sein, wenn eine grosse Summe von Kenntnissen zur Verfügung steht, für die Schule werden dies Bilder sein, die zur Erklärung einiger Verhältnisse benutzt werden können, wie bei der Allotropie, Isomerie u. s. w., während Begriffe wie die der Wertigkeit, der Äquivalenz, eben nicht zum theoretischen Aufbau, sondern zur Grundlage der Wissenschaft gehören. Immer wird dabei dem Schüler auch das Bewusstsein wach gehalten werden, dass er es nur mit dem Anfang der Wissenschaft zu thun hat, wozu ihn gerade gelegentliche Andeutungen über die Aufgaben der Wissenschaft führen, wie dies auch bei den Sprachen in Beziehung auf Sprachvergleichung, bei Geographie in Beziehung auf Ethnologie, physikalische Geographie u. s. w. geschehen kann. Und so führt diese Aufgabe zurück zu der allgemeineren, die der chemische Unterricht mit erfüllen soll, ethisch und erziehlich zu wirken, zum selbständigen Denken anzuleiten. Die Übung des Ausdrucks in der Wiedergabe des Angeschauten, die scharfe Unterscheidung von Körper, Eigenschaften und Veränderungen, die stete Anregung zu eigener Thätigkeit, die Möglichkeit das Geschene in lebendigen Connex mit dem Leben zu setzen, werden diese Aufgabe mit erfüllen helfen, zumal wenn der Unterricht so geleitet wird, dass die Begeisterung des Lehrers auf den Schüler

[5]) Vergl. auch die jüngst erschienene Abhandlung von Dr. F. Wilbrand: „*Zur Methodik des chemischen Unterrichts*“ in Frick und Meier's *Lehrproben und Lehrgängen*, Heft XIII, 37—53.



übergeht und dieser fühlt, dass der Unterricht mit den übrigen Wissenschaften, mit dem gesamten Leben und Wirken in Beziehung steht. Diese Anleitung zur Wahrhaftigkeit, zum Mute selbst zu urteilen, aber nie ohne hinreichende Grundlage und ohne die Erkenntnis der Abhängigkeit jeder Erscheinung von bestimmten Bedingungen, fallen dem chemischen Unterrichte als natürliche Aufgaben zu, zum mindesten in demselben Grade wie anderen Fächern. Freilich steht der Erfüllung dieser Aufgaben auch der leicht erklärliche Umstand entgegen, dass bei Lehrenden und Lernenden die grammatische Methode und die daraus folgende mechanischere Auffassung des chemischen Unterrichts noch nicht immer überwunden ist; sind darauf mit vielleicht auch die Klagen über die geringen Erfolge des Universitätsunterrichts zurückzuführen [6])? Das eine muss allerdings hervorgehoben werden, dass so der chemische Unterricht an den Lehrenden ausserordentlich hohe Anforderungen stellt in Beziehung auf Zeit und Arbeitsaufwand, die aber ihren Lohn finden in dem bereitwilligen Entgegenkommen der Schüler und der Freude an dem erwachenden Verständnis des Lernenden, durch das ihm eine neue unbekannte Welt erschlossen wird.

In kurzen Umrissen habe ich die Hauptaufgaben des chemischen Unterrichts skizziert, ohne auf die Ausführung im Einzelnen eingehen zu können; auch glaube ich, dass diese Aufgaben als solche des chemischen Schulunterrichts im Allgemeinen anerkannt werden. Vielfach teilt man den einzelnen Schul-Wissenschaften einen äusseren Zweck im Unterricht zu und ist so zu der Anschauung gekommen, als ob der naturwissenschaftliche Unterricht keinen tiefer liegenden Einfluss haben könne. Man hat daher den Naturwissenschaften den Zweck materieller Vervollkommnung, die sie mit in hohem Grade fördern, als den alleinigen imputiert und daraus ihre Stellung für die Jugenderziehung und allgemeine Bildung abgeleitet. Unser Zeitalter wird erst dann das naturwissenschaftliche genannt werden können, wenn nicht der materielle Nutzen, den die Naturwissenschaften gebracht haben, sondern ihr Wert für die Erziehung der Menschheit anerkannt ist.

Für die Frage, wie weit jene Aufgaben bei unseren jetzigen Einrichtungen erfüllbar sind, geben die in der Einleitung dargelegten äusseren Bedingungen manchen Anhaltspunkt, auch habe ich schon früher einige meiner Anschauungen in dieser Richtung mitgeteilt [7]). Hilfsmittel, einzelne Teile derselben zu erfüllen, sind reichlich vorhanden: Anleitungen zum Experimentieren, Lehrbücher mit Übungsaufgaben, Repetitorien (nur mit Fragen oder auch mit Frage und Antwort), Leitfäden für jede Schulkategorie (Töchterschulen, Gymnasien, Realanstalten), Darstellungen der gesamten Chemie mit Anführung der Experimente und aphoristischen Erklärungen und Schlussfolgerungen (Kleyer), alles Zeichen von Bestrebungen einer tieferen Auffassung des Unterrichts [8]). Aber zwei Mittel sind es, die bisher noch wenig Berücksichtigung gefunden haben und wesentlich dem chemischen Unterricht förderlich sein könnten, die ich hervorheben möchte. Einmal wäre wünschenswert eine übersichtliche Zusammenstellung der sämt-

[6]) P. Muir: On the Teaching of Chemistry, Nature XXXVI, 544 (A paper read before Section B of the British Association at Manchester), vergl. den Bericht in diesem Heft.

[7]) Über den Unterricht in der Chemie an Gymnasien. Zeitschr. f. d. Gymnasialwesen. XXX. 7, 8. Über den chemischen Unterricht an Realschulen. Centralorgan f. d. Inter. d. Realschulwesens. 1876. p. 257—287. Über Geschichte und Stand der Methodik in den Naturwissenschaften. 1877.

[8]) Eine Übersicht findet sich in dem Jahresbericht von Rethwisch über „das höhere Schulwesen". 1887. p. 285 (dargestellt von E. Loew).

lichen Experimente, welche zum Zwecke der Darlegung bestimmter Begriffe oder für die Vorführung besonderer Eigenschaften oder Erklärung einzelner Erscheinungen ausgeführt und angegeben sind, unter Berücksichtigung der methodischen Verwertung und der Schwierigkeiten des Experiments. Hierbei würden sich leicht Vereinfachungen ergeben, eine Abwechslung bei der Auswahl würde sehr erleichtert, und das Material für Wiederholungsversuche würde jedem zugänglich. Die Anordnung würde am besten dem gewöhnlichen Gange, der Betrachtung der einzelnen Elemente und ihrer Verbindungen sich anschliessen. — Sehr förderlich wäre auch die Einrichtung eines praktischen Kursus für Schulexperimente. Grade für diejenigen, die nicht Zeit und Gelegenheit haben im chemischen Laboratorium zu arbeiten oder als Assistenten thätig zu sein, würde ein solcher Kursus, bei dem der Lernende die für den Schulunterricht wichtigen Erscheinungen selbst experimentell auszuführen hat, eine grosse Erleichterung und eine vorteilhafte Vorbildung gewähren.

Diese Betrachtung führt unmittelbar zu der Frage, wie weit „die Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht“ zur Erfüllung der dem Unterrichte gesteckten Ziele beitragen kann. Grade dadurch, dass die neuen Bestimmungen den chemischen Unterricht z. T. in so nahe Beziehung zur Physik gesetzt haben, ergiebt sich die Pflege dieser Beziehung als eine naturgemässe Aufgabe; auf beiden Seiten, von den Fachmännern der Physik und Chemie, wird geklagt, dass beide Wissenschaften mehr und mehr auseinandergehen und die Beziehungen zwischen beiden gelockert werden. Ist schon auf rein wissenschaftlichem Gebiete eine solche Verbindung durch die Zeitschrift von Ostwald und van t'Hoff (Zeitschrift für physikalische Chemie, Stöchiometrie und Verwandtschaftslehre) angebahnt, so scheint eine solche auf dem unterrichtlichen Gebiete noch mehr geboten. Ganze Abschnitte der Physik (Molekularphysik, Elektrochemie u. s. w.) können aus der Chemie eine Reihe von Thatsachen heranziehen und Experimente herübernehmen, die vortrefflich geeignet sind die Grundlagen dieser Teile abzugeben, und umgekehrt wird der chemische Unterricht vielfach physikalische Verhältnisse und Experimente benutzen müssen. Es werden daher diese Teile der chemisch-physikalischen Wissenschaft, die in den gewöhnlichen Lehrbüchern oft wenig berücksichtigt sind, eine besondere Behandlung erfahren können. Solchen Darlegungen wird sich in der Form die methodische Behandlung einzelner chemischer Abschnitte anschliessen. Wenn hier die Experimente nach bestimmten Grundsätzen gruppiert werden, vermögen solche Einzelbilder dem Unterrichte sehr förderlich zu sein. Dadurch dass in den Lehrbüchern die einzelnen Experimente mechanisch aufgezählt werden, ohne dass der Zweck derselben deutlich hervortritt, scheinen dieselben oft der Unterhaltung und nicht der geistigen Fortbildung zu dienen. Sind doch auch die kurzen chemischen Abrisse in den physikalischen Lehrbüchern meist nur unvollkommene Auszüge aus systematischen grösseren Werken[9]).

So werden denn auch neue Experimente, wenn sie für den Schulunterricht verwendbar sind, eine hervorragende Berücksichtigung finden müssen; hierin kann die Universität dem Schulunterricht manche Stütze geben, da es dort leicht ist mit grösseren Mitteln besondere Versuche herzurichten, die später eine Vereinfachung erfahren können (wie bei der umgekehrten Verbrennung, den Versuchen mit Kohlensäure etc.); in manchen wissenschaftlichen Zeitschriften, Ber. d. chem.

[9]) Von allgemeinem Interesse ist, was in dieser Beziehung Seibt, „Deutsche Universitätszeitung“ 1887, No. 11, über die österreichischen Verhältnisse sagt.



Ges., Chem. News und andren sind schätzenswerte Mitteilungen derart vorhanden. Auch die namentlich im Auslande so beliebten Demonstrationen mit den einfachsten Hilfsmitteln, wie sie in La Nature und in vielen französischen, englischen und amerikanischen Elementarbüchern angegeben sind, werden in passender Auswahl für gelegentliche Benutzung im Unterricht geeignet sein.

Für den Einzelnen ist es bei den Hunderten von technischen, rein wissenschaftlichen und akademischen Zeitschriften, welche neue chemische Thatsachen bringen, nicht mehr möglich das herauszusuchen, was für den Fortschritt des Unterrichts von Wichtigkeit ist; dieses zu ermitteln und dem Einzelnen zugänglich zu machen, liegt ebenfalls im Bereiche der Ziele dieser Zeitschrift. Übersichten in zusammenhängender wissenschaftlicher Darstellung über die in den letzten Zeiten in Beziehung auf Kenntnis einzelner Körper gemachten Fortschritte werden daher nicht minder zur Förderung des chemischen Unterrichts beitragen als Mitteilungen über besondere Anwendungen chemischer Processe in Technik und Industrie; wie denn überhaupt dem Lehrer die fortlaufende Kenntnis der wissenschaftlichen Resultate notwendig ist, um im Zusammenhang mit der Fortentwicklung der Wissenschaft zu bleiben.

Vielfach ist es auch mühsam, Neubestimmungen von Constanten (Löslichkeitsverhältnisse, specifische Gewichte, Entzündungstemperaturen etc.), die für den Unterricht von Wichtigkeit sind, zu erfahren, und selbst in den Lehrbüchern finden sich ungenaue Zahlen; eine Zusammenstellung solcher Constanten kann nicht unwillkommen sein, ebenso wie praktische Mitteilungen über Verbesserungen bekannter Apparate, bequeme Herstellung mancher Präparate, anschauliche Darstellung *älterer* Versuche.

Aber alle diese Ziele sind nur zu erreichen, wenn viele am gemeinsamen Werke sich beteiligen; grade für die Erziehung und Heranbildung der Jugend muss das Beste, was die Wissenschaft bietet, benutzt werden, dann erfährt nicht nur der Unterricht an höheren Schulen, sondern der gesamte Unterricht auf *allen* Stufen Förderung und Erweiterung.

Wenn der naturwissenschaftliche Unterricht in Methode, Inhalt und Ziel mehr und mehr vervollkommnet wird, so werden immer weitere Kreise der Bevölkerung die Natur als den gemeinsamen Boden empfinden und verstehen lernen, auf dem sich unsere jetzige Kultur im Anschluss an das historisch Gewordene neu und nach andrer Richtung hin entwickelt hat.

Ein neuer Apparat zur Demonstration der Fundamentalversuche der Magnetinduktion.

Von

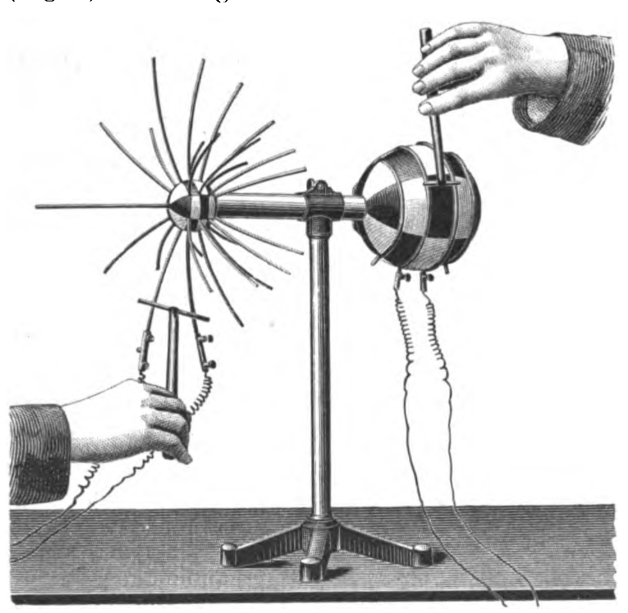
Prof. Dr. **L. Pfaundler** in Innsbruck.

Auf der Wiesbadener Naturforscher-Versammlung habe ich einen kürzlich von mir konstruierten Apparat vorgezeigt, welcher dazu bestimmt ist, die *Induktion elektrischer Ströme bei der Bewegung eines begrenzten linearen Leiters im Felde eines Magneten* nachzuweisen. Gewöhnlich werden die Induktionsversuche mit dem *Faraday*'schen Apparate begonnen, indem man einen Magneten in eine mit Galvanometer verbundene Drahtspule hineinführt. Dies entspricht der historischen, aber nicht der systematischen Reihenfolge der Experimente. Die Wirkung des Magnetfeldes auf eine Drahtspirale ist schon



ein ziemlich komplizierter Fall; selbst die Einwirkung auf einen einzigen kreisförmigen Leiter ist nicht die einfachste Form des Experiments. Der einfachste Fall ist vielmehr die Induktion eines begrenzten geradlinigen Leiters bei seiner Bewegung in einem homogenen magnetischen Felde, wobei zu zeigen ist, dass die elektromotorische Kraft einzig von der Anzahl der in der Zeiteinheit gleichsinnig geschnittenen Kraftlinien abhängt, und dass Länge und Lage des Leiters, Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung nur insoweit Einfluss haben, als durch diese Umstände die Anzahl der geschnittenen Kraftlinien geändert wird. Leider ist ein starkes homogenes magnetisches Feld nicht mit einfachen Mitteln herzustellen, undich habe es deshalb vorgezogen, das nicht homogene Feld eines Magnetstabes zu benutzen.

Der Apparat hat nun folgende Einrichtung. Auf einer vertikalen Säule (Fig. 1) mit Fussgestell ist mit Scharnierband und Schraube in horizontaler Lage ein starker gerader Magnet mit cylindrischem Querschnitt (ein aus 5 Stäben zusammengesetztes Magazin oder auch ein ebenso geformter Elektromagnet) drehbar und längs der Achse verschiebbar befestigt. Über beide Pole sind hölzerne Fassungen geschoben, welche nahezu die Form von Kugeln haben, in Wirklichkeit aber Niveauflächen vorstellen. Die eine, kleinere Niveaufläche linker Hand trägt eine Anzahl (25) von ihr ausgehender starker Metalldrähte, welche Kraftlinien vorstellen, und deren Anordnung und Verteilung nach dem Vorgange Faraday's und Maxwell's so beschaffen ist, dass durch sie nicht nur die Richtung der Kraft, sondern durch ihre Frequenz auch die Intensität des Feldes in jedem Punkte dargestellt wird. Die Längen dieser Drahtstücke sind so bemessen, dass ihre äusseren Enden ebenfalls eine weitere Niveaufläche andeuten. Die Niveaufläche des anderen Pols zur rechten Hand ist, wie die zur linken, durch sechs Meridiane und vier Parallelkreise in 30 Felder abgeteilt, so dass die Ecken dieser Felder den Ausgangspunkten der 25 Kraftlinien entsprechen. Denkt man sich daher die Anzahl der Kraftlinien sehr vermehrt, so würde jedes dieser, abwechselnd schwarz und weiss gefärbten Felder je eine gleiche Anzahl, nämlich den 30. Teil sämmtlicher Kraftlinien hindurch lassen. Einige der diese Felder begrenzenden Parallelkreise (in Fig. 1 auf der Vorderseite) sowie einige der Meridiane (in Fig. 2 nach Umdrehung der Kugel sichtbar) sind mit dicken, versilbertenKupferdrähten belegt, und es können je zwei benachbarte dieser Drähte mit Drahtleitungen verbunden werden, welche zu einem (in der Figur nicht sichtbaren) empfindlichen Projektionsgalvanometer führen. Ebenso können je zwei benachbarte Kraftliniendrähte in dieser Weise mit dem Galvanometer verbunden werden, wie aus den Figuren zu ersehen ist. Der Leiter, dessen Bewegung die elektromotorische Kraft hervorrufen soll, be-


Fig. 1. (1/10 nat. Gr.)

steht aus einem geraden beziehungsweise schwach gekrümmten, kürzeren oder längeren versilberten Kupferdrahtstücke, welches am Ende eines Holzstäbchens befestigt ist. Bei der Bewegung schleift dieser Leiter auf den Drähten, die er überbrückt, und es wird auf diese Weise der in ihm hervorgerufene Strom dem Galvanometer zugeführt.

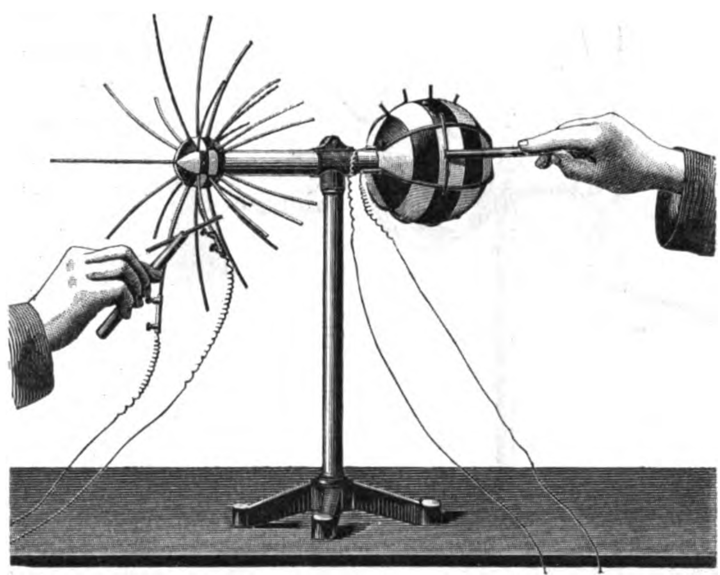


Fig. 2. (1/10 nat. Gr.)

Die Versuche zerfallen in zwei Reihen. Durch die erste Versuchsreihe wird gezeigt, dass kein Strom entsteht, wenn durch den Leiter keine Kraftlinien geschnitten werden. Die Hauptfälle, welche hierbei vorkommen, und auf welche alle anderen zurückgeführt werden können, sind folgende:

I. Der Leiter bewegt sich auf einer Schnittebene durch die Magnetachse.
   a) Die Lage des Leiters ist senkrecht auf die Kraftlinien, seine Bewegungsrichtung parallel denselben (Fig. 1, linke Seite);
   b) die Lage des Leiters ist parallel zu den Kraftlinien, seine Bewegungsrichtung senkrecht zu denselben.

II. Der Leiter bewegt sich auf der Rotationsfläche einer Kraftlinie.
   a) Die Lage des Leiters ist senkrecht auf die Kraftlinien, seine Bewegungsrichtung parallel denselben (Fig. 2, linke Seite);
   b) die Lage des Leiters ist parallel zu den Kraftlinien, seine Bewegungsrichtung senkrecht zu denselben (Fig. 3, linke Seite).

Die Ergänzung des Apparates zur Herstellung des Falles II, b ist aus der linken Seite der Fig. 3 genügend ersichtlich, eine ähnliche, nicht speciell abgebildete Ergänzung ermöglicht den Fall I, b.

In der zweiten Versuchsreihe werden auf der rechten Seite des Apparates solche Bewegungen ausgeführt, durch welche Kraftlinien geschnitten und daher auch Ströme geweckt werden. Wir haben nur die beiden Hauptfälle:

III. Der Leiter bewegt sich auf einer Niveaufläche.
   a) Die Lage des Leiters ist senkrecht zu den Parallelkreisen, seine Bewegungsrichtung parallel denselben (Fig. 1, rechte Seite);
   b) die Lage des Leiters ist senkrecht zu den Meridianen, seine Bewegungsrichtung parallel denselben (Fig. 2, rechte Seite).

Bei beiden Arten von Bewegungen erhält man Ausschläge am Galvanometer. Zur raschen Orientierung über die zusammengehörigen Bewegungs- und Stromrichtungen kann eine einfache in Fig. 3 rechts abgebildete Vorrichtung dienen. Dieselbe stellt eine Art räumliches Coordinatensystem vor. Die y-Achse wird durch ein in der Hand gehaltenes, am freien Ende zugespitztes Stück Kupferdraht gebildet und stellt den Leiter vor, in welchem ein Strom gegen die Spitze erzeugt werden soll. Die x-Achse und die z-Achse werden durch eine Magnetnadel und einen messingenen Pfeil gebildet, welche beide zu einem Kreuze starr verbunden und um den Kupferstab als Achse leicht drehbar sind. Hält man nun den Kupferstab in die Lage des zu bewegenden Leiters, so stellt sich die Magnetnadel in die Richtung der Kraftlinien und der Pfeil zeigt automatisch die Bewegungsrichtung, welche man dem Leiter geben muss, damit er einen Strom nach der Spitze entwickle.

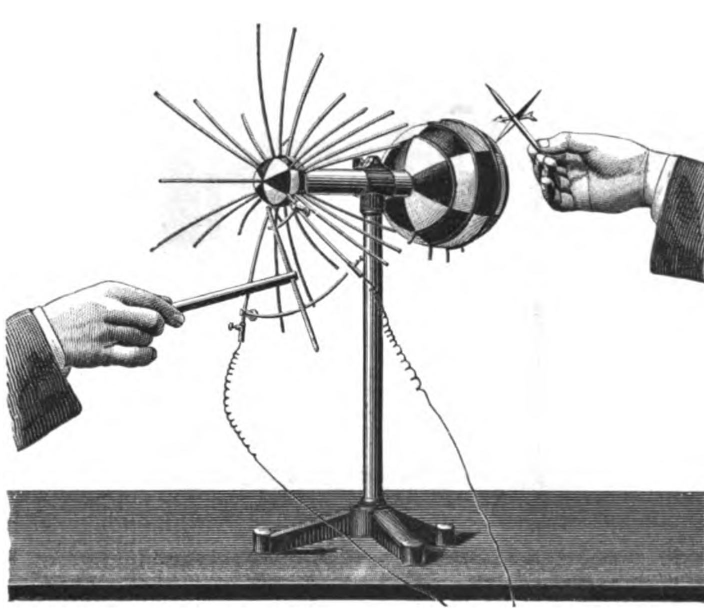


Fig. 3. (1/10 nat. Gr.)

Diese Versuche können aber auch quantitativ ausgeführt werden, und darauf kam es mir bei der Konstruktion auch besonders an. Da jedes der Felder der Niveaufläche den dreissigsten Teil sämmtlicher Kraftlinien hindurch lässt, so wird durch das Überfahren eines jeden dieser Felder eine gleiche Menge Elektricität in Bewegung gesetzt. Giebt man daher dem Galvanometer nur geringe Dämpfung und führt die Bewegungen relativ rasch aus, so erhält man auch sehr nahe gleiche Ausschläge, welche sich verdoppeln oder verdreifachen, wenn der Leiter 2 oder 3 Felder überschritten hat. Das Galvanometer muss empfindlich, daher stark astasirt sein. Der Widerstand der Windungen sowie der Zuleitungsdrähte darf begreiflich nicht gross sein, man wird also die für Thermoströme bestimmten Drahtspulen anwenden.

An diese Versuche schliessen sich dann solche mit kreisförmigen oder irgendwie anders geformten Leitern an, deren Wirkungsweise sich leicht aus den oben nachgewiesenen Elementarwirkungen ableiten lässt.

Elementare Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler und transversaler Wellen.

Von

Dr. **Paul Kindel** in Berlin.

(Nach einem im Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts gehaltenen Vortrage.)

§ 1. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Wellen in beliebigen Körpern.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Wellen in beliebigen Körpern soll unter folgenden Voraussetzungen berechnet werden:

1) Jede von der Welle ergriffene Molekel verändert während der ganzen Dauer der Bewegung ihre Stellung im Raum so wenig, dass ihre Verschiebung im Vergleich zu derjenigen Strecke, um welche in derselben Zeit die Welle fortschreitet, vernachlässigt werden darf. Auch die Geschwindigkeit jeder Molekel verschwindet im Vergleich zu derjenigen der Welle.

2) Die Störung des Gleichgewichts überträgt sich von Punkt zu Punkt ohne Energieverlust mit gleichförmiger Geschwindigkeit; die Welle durchschreitet also etwa einen prismatischen Teil eines vollkommen elastischen Körpers parallel der Axe desselben und ohne jede Art von Reibung. Alle Veränderungen, die an irgend einer Stelle (A) erfolgen, treten auch an jedem andern Punkte der Welle auf, aber um so später, je weiter in der Richtung der fortschreitenden Welle der betrachtete Punkt von A entfernt ist.

Eine mathematische Begründung der Möglichkeit einer solchen Wellenbewegung wird nicht beabsichtigt.

Aus der ersten Voraussetzung folgt, dass alle Molekeln, welche während ihrer Schwingungen jemals denselben Punkt des Raumes erreichen, während der ganzen Wellenbewegung niemals weit von einander getrennt sind. Da sich nun die Wellenbewegung von einer dieser Molekeln sehr schnell auf die andern überträgt, so sind sie stets in nahezu gleichen Schwingungsphasen, und alle Veränderungen, welche während einer beliebigen Zeitdauer eine dieser Molekeln durchmacht, finden gleichzeitig an jeder Stelle des Raumes statt, die von der Molekel durchschritten wird. Es werden darum die Veränderungen im Schwingungszustand irgend einer Molekel als identisch angesehen mit denen, welche an einem der von ihr durchlaufenen Punkte des Raumes gleichzeitig statthaben.

Je zwei Molekeln a und b haben, weil sie ja congruente Schwingungen ausführen, einen constanten Phasenunterschied. Dasselbe gilt nach der eben gemachten Voraussetzung also auch für die Schwingungen an je zwei festen Stellen des Raumes.

Fig. 1.

Es seien nun A und B zwei beliebige Querschnitte des prismatischen Trägers der Welle, ihre Entfernung sei x, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle sei c. Jeder Schwingungszustand in A überträgt sich auf B in einer gewissen Zeit τ, welche durch die Gleichung:

1) . . . . $x = c\tau$

bestimmt ist.



In A sei in einem beliebigen Augenblick t der Druck e, die Geschwindigkeit der schwingenden Molekeln v, die Dichtigkeit derselben d. Derselbe Schwingungszustand evd wird in B zur Zeit $t + \tau$ angetroffen.

In A sei ferner im Augenblick $t - \tau$ der Schwingungszustand e_1, v_1, d_1. Auch dieser hat sich bis B während der Zeit τ, also bis zum Augenblick t, übertragen.

In A hat von der Zeit $t - \tau$ bis zur Zeit t die Geschwindigkeit um $v - v_1$ zugenommen. Dieselbe Änderung erleiden in derselben Zeit alle Molekeln, welche den Querschnitt A passieren. Da nun die Beschleunigung einer Molekel definiert ist als das Verhältnis der Geschwindigkeitsvermehrung zur zugehörigen Zeit bei unbeschränkter Abnahme der letzteren, so ist die Beschleunigung φ zur Zeit t für die Molekeln in A:

2) . . . . $$\varphi = \frac{v - v_1}{\tau},$$

vorausgesetzt, dass τ und also auch x und die Differenzen $e - e_1$, $d - d_1$, $v - v_1$ verschwindend klein gedacht sind. Andrerseits ist die Beschleunigung das Verhältnis der Kraft zur bewegten Masse. Der unbeschränkt klein zu denkende Raum AB enthält, wenn man die Fläche des Querschnitts der Einheit gleichsetzt, das Volumen x und zur Zeit t die Masse $x\delta$, wenn man unter δ eine Dichtigkeit zwischen den Dichtigkeiten d und d_1 versteht.

Die bewegende Kraft ist der Überschuss des Druckes auf den Querschnitt A über den auf B in der Richtung AB, sie ist also im Augenblick t gleich $e - e_1$. Somit wird

3) . . . . $$\varphi = \frac{e - e_1}{x\delta}.$$

In Folge der Schwingungsbewegung strömen in den Raum AB Molekeln hinein und andere aus demselben hinaus. Im Augenblick t ist die Geschwindigkeit des Einströmens v und die des Ausströmens v_1, so dass im ganzen das Einströmen mit der Geschwindigkeit $v - v_1$ erfolgt. Während der Zeit τ strömt also das Volumen $(v - v_1)\tau$ in den Raum AB hinein. Da ferner zur Zeit t die ein- und ausströmenden Molekeln die Dichtigkeiten d und d_1 haben, so vermehrt sich im Raum AB während der Zeit τ die Masse um $(v - v_1)\tau\delta'$ (unter δ' ein Wert zwischen d und d_1 verstanden).

Es ändern sich andererseits die Dichtigkeiten von d_1 zu d, nämlich im Querschnitt A während der Zeit von $t - \tau$ bis t, im Querschnitt B während der Zeit t bis $t + \tau$ und in jedem zwischen A und B liegenden Querschnitt während einer Zeitdauer τ, welche den Augenblick t in sich schliesst. Die Dichtigkeit der gesamten Masse AB ändert sich also im Augenblick t mit der Geschwindigkeit $(d - d_1) : \tau$, und die Masse selbst vermehrt sich während der Zeit τ um $x(d - d_1)$. Folglich ist

4) . . . . $$(v - v_1)\tau\delta' = x(d - d_1).$$

Die Gleichungen (2) bis (4):

$$\varphi = \frac{v - v_1}{\tau} = \frac{e - e_1}{x\delta} = \frac{x(d - d_1)}{\tau^2 . \delta'}$$

ergeben durch Elimination von $x = c\tau$:

$$c^2 = \frac{e - e_1}{d - d_1} \cdot \frac{\delta'}{\delta}.$$

Hierin ist noch $\delta' : \delta = 1$ zu setzen, weil δ' und δ ebenso wie d und d_1 ver-



schwindend wenig von einander verschieden sind. Schliesslich erhält man also:

$$5) \quad c = \sqrt{\frac{e - e_1}{d - d_1}}.$$

Diese Formel bestimmt unter den im Anfang gemachten Voraussetzungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer longitudinalen Welle in jedem beliebigen Körper. Es ist unwesentlich, ob die Schwingungen periodisch sind oder nicht.

Die Differenzen $e - e_1$ und $d - d_1$ sind verschwindend klein, ihr Verhältnis ist constant in allen Körpern, welche fähig sind, Wellen von der vorausgesetzten Art durch sich zu leiten. Will man dieses Verhältnis durch Grössen, welche der Beobachtung zugänglich sind, ersetzen, so muss man nun die verschiedenen Arten der Körper unterscheiden.

§ 2. Schallgeschwindigkeit in gasförmigen Köpern.

Wären Druck und Dichtigkeit dem Mariotte'schen Gesetz entsprechend direkt proportional, so würde für die Grössen des vorigen § die Gleichung:

$$\frac{e}{d} = \frac{e_1}{d_1} = \frac{e - e_1}{d - d_1}$$

bestehen, und die Schallgeschwindigkeit wäre

$$c = \sqrt{\frac{e}{d}}.$$

Newton hatte in der That die Proportionalität von Druck und Dichtigkeit angenommen und darum das letzte Resultat erhalten. Er berechnete nach demselben *(Philos. nat. princ. math. t. II. prop. 50)* $c = 979$ englische Fuss..

Erst Laplace bemerkte, dass die Annahme von der Proportionalität von Druck und Dichtigkeit unzulässig war. Newton hatte übersehen, dass die in den Schallwellen vorkommenden Condensationen die Temperatur ändern, und dass bei der ausserordentlich geringen Wärmeleitungsfähigkeit der Gase die Temperatur sich nicht mit der der Umgebung ins Gleichgewicht setzen kann. Das Mariotte'sche Gesetz gilt nur, so lange die Temperatur ungeändert bleibt. Für die in einer Schallwelle vorkommenden Druck- und Dichtigkeitsänderungen darf es also nicht angewendet werden.

Die Untersuchung, welche Beziehung zwischen Druck und Dichtigkeit stattfinde, wenn die Veränderungen ohne Wärmeaustausch (adiabatisch) erfolgen, lässt sich elementar folgendermaassen durchführen:

Man denke sich die Gewichtseinheit Gas erwärmt zuerst durch die Wärmemenge q um τ^0 bei constantem Volumen, sodann durch q_1 um τ_1^0 bei constantem Druck. Sind die specifischen Wärmen c und c_1, so folgt

$$q = c\tau, \quad q_1 = c_1\tau_1.$$

Druck, Dichtigkeit und Temperatur des Gases seien ursprünglich e, d, t.

Durch die Wärmemenge q wird d nicht geändert, und das Gas in den neuen Zustand e_1, d, $t + \tau$ gebracht. Durch die Wärmemenge q_1 wird e_1 nicht geändert uud das Gas in den Endzustand e_1, d_1, $t + \tau + \tau_1$ gebracht. Nach den Gesetzen von Mariotte und Gay-Lussac folgt:

$$\frac{e}{d(1 + \alpha t)} = \frac{e_1}{d(1 + \alpha t + \alpha\tau)} = \frac{e_1}{d_1(1 + \alpha t + \alpha\tau + \alpha\tau_1)}$$



und also:

$$1) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{e}{1+\alpha t} = \frac{e_1}{1+\alpha t+\alpha\tau} = \frac{e_1 - e}{\alpha\tau}$$

$$2) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (d - d_1)(1+\alpha t+\alpha\tau) = d_1\alpha\tau_1.$$

Durch Elimination von $1+\alpha t+\alpha\tau$ erhält man:

$$e_1(d - d_1) = \frac{e_1 - e}{\tau} \cdot d_1\tau_1 \text{ oder}$$

$$3) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{e_1 - e}{d_1 - d} = -\frac{e_1}{d_1}\frac{\tau}{\tau_1}.$$

Die Zustandsänderung von e, d, t zu $e_1 d_1 t_1$ geschieht durch eine Wärmezufuhr und eine gleich grosse Wärmeabgabe, wenn $q + q_1 = 0$, und also

$$c\tau + c_1\tau_1 = 0, \quad \frac{\tau}{\tau_1} = -k$$

ist. Dem Gebrauch entsprechend ist hier mit k das Verhältnis der specifischen Wärmen $(c_1 : c)$ bezeichnet. Durch Substitution in die dritte Gleichung erhält man schliesslich:

$$4) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{e_1 - e}{d_1 - d} = k \cdot \frac{e_1}{d_1}.$$

Diese Gleichung gilt, wenn ein Gas zuerst bei constantem Volumen, sodann bei constantem Druck unter gleich grosser Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe vom Zustand e, d in den Zustand e_1, d_1 übergeht. Ist die Reihenfolge umgekehrt, so muss die Gleichung (4) durch folgende ersetzt werden;

$$4a) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{e_1 - e}{d_1 - d} = k \cdot \frac{e}{d},$$

denn der Uebergang von e_1, d_1 zu e, d findet in der umgekehrten Reihenfolge statt, dass nämlich zuerst der Druck und dann das Volumen konstant erhalten wird.

Wenn die Zustandsänderung von e, d zu e_1, d_1 so gering ist, dass die Werte von e/d und e_1/d_1 sich nicht wesentlich unterscheiden, so verschwindet der Einfluss jener Reihenfolge. Bei dieser Voraussetzung wird also auch die Gleichung 4 oder 4a bestehen, wenn das Gas von dem Zustand e, d in den neuen Zustand e_1, d_1 adiabatisch übergeht.

In der für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Wellen abgeleiteten Formel (5) des vorigen §

$$c = \sqrt{(e - e_1) : (d - d_1)}$$

bedeuten e und e_1 die Drucke an den Grenzflächen einer verschwindend dünnen Schicht und d und d_1 die Dichtigkeiten ebendaselbst. Für die verschwindend kleinen Differenzen $e - e_1$ und $d - d_1$ gilt also die eben abgeleitete Gleichung (4) oder (4a), und man erhält für die Schallgeschwindigkeit in gasförmigen Körpern:

$$5) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad c = \sqrt{k \cdot \frac{e}{d}}.$$

§ 3.

Zur numerischen Berechnung der Schallgeschwindigkeit in der Luft muss man den Wert von k kennen. Derselbe lässt sich sowohl mit Voraussetzung des mechanischen Wärmeäquivalentes, als auch ohne dassselbe elementar bestimmen.

Bei Voraussetzung des mechanischen Wärmeäquivalentes kann man folgendermaassen verfahren:



Wenn, wie im vorigen §, c die specifische Wärme bei constantem Volumen, c_1 die bei constantem Druck bezeichnet, so ist $c_1 - c$ diejenige Wärmemenge, durch welche die mit der Ausdehnung verbundene äussere Arbeit geleistet wird, wenn die Gewichtseinheit Gas sich um 1° erwärmt. Diese Ausdehnung beträgt $v_0\alpha$, wenn v_0 das Volumen der Gewichtseinheit bei 0° bezeichnet. Während dieser Ausdehnung ist die äussere Arbeit $ev_0\alpha$ geleistet. Hierzu gehört die Wärmemenge $ev_0\alpha/424$. Es ist also $c_1 - c = ev_0\alpha/424$, worin $e = 1{,}033 \cdot 10^4$ kg (auf 1 qm), $v_0 = 773/10^3$ cbm, weil 1 kg Luft 773 cbdm füllt, $\alpha = {}^1/_{273}$. Ferner ist nach den Versuchen von Regnault: $c_1 = 0{,}2375$, es ergiebt sich also $c = 0{,}1685$ und $k = c_1/c = 1{,}41$.

Der Wert von k lässt sich auch ohne Voraussetzung des mechanischen Wärmeäquivalentes aus den Versuchen von Clement und Desormes folgendermaassen bestimmen: Ein mit einem weiten Hahn versehener Glasballon enthielt mässig verdichtete oder verdünnte Luft von der Temperatur der Umgebung t im Zustand e, d, t. Wenn der Hahn etwa $^1/_2$ Sekunde geöffnet blieb, so nahm die Luft im Innern den Druck der äussern Luft (e_1) an und kam in den Zustand e_1, d_1, t_1. Da diese Zustandsänderung als adiabatisch und hinreichend klein gelten kann, so darf die Gleichung:

$$\frac{e_1 - e}{d_1 - d} = k \cdot \frac{e}{d}$$

benutzt werden. Nach dem Schluss des Hahnes gleicht sich die innere Temperatur t_1 allmählich mit der äussern (t) aus. Die Dichtigkeit d_1 bleibt ungeändert, wenn durch die Flüssigkeit im Manometerrohr das ursprüngliche Luftvolumen abgesperrt bleibt. Die Luft im Innern kommt schliesslich in den Zustand e_2, d_1, t und nach dem Mariotte'schen Gesetz ist

$$\frac{e}{d} = \frac{e_2}{d_1} = \frac{e_2 - e}{d_1 - d}.$$

Durch Division erhält man:

$$k = \frac{e_1 - e}{e_2 - e}.$$

Die Druckdifferenzen sind leicht zu beobachten.

Gay-Lussac giebt z. B. an (vgl. *Wüllner, Experimentalphysik, III. § 50)*:

$$e_1 = 757 \text{ (mm)},$$
$$e = 757 + 16{,}36,$$
$$e_2 = 757 + 4{,}44.$$

Hiernach ist:

$$k = \frac{16{,}36}{11{,}92} = 1{,}38.$$

Masson hat aus 30 nach dieser Methode angestellten Versuchen $k = 1{,}419$ berechnet.

In der Formel für die Schallgeschwindigkeit ist der Factor k mit e/d zu multiplizieren. e/d ist ein Verhältnis zwischen Kraft und Masse, also eine Beschleunigung, nämlich diejenige, welche eine Säule von 1 m Höhe durch den auf ihr lastenden Druck erfährt. Bezeichnet man nach Newton (*Prop. 49*) mit A die Höhe des homogenen Gases, dessen Gewicht den Druck ersetzt und dessen Dichtigkeit die des gedrückten Gases ist, so ist die Beschleunigung

$$\frac{e}{d} = gA \quad \text{und} \quad c = \sqrt{kgA}.$$

Für die Temperatur 0° ist $A_0 = 0{,}76^{\text{m}} \cdot 10517 = 7992{,}92^{\text{m}}$, für t^0 ist $A = A_0(1 + \alpha t)$.

Sind endlich c und c' Schallgeschwindigkeiten in der Luft und in einem Gase vom specifischen Gewicht s, so folgt:

$$c' = \frac{c}{\sqrt{s}}\cdot$$

§ 4. Andere Ableitungen der Newton'schen Formel.

Newton selbst schliesst folgendermaassen:

Über eine Reihe äquidistanter Punkte A, B.. schreite eine Welle vor. Jeder folgende Punkt wird von der Welle um eine gleiche Zeit nach dem vorangehenden erfasst. Von dieser Zeitdifferenz abgesehen, beschreiben alle Punkte kongruente Bahnen. Diese werden als einfache Pendelbewegungen angenommen. Durch die successiven Verspätungen entstehen Verdichtungen und Verdünnungen; durch diese ändert sich die Elastizität. Die Änderungen der Elastizität sind durch das Mariotte'sche Gesetz bestimmt. Man berechne nun die Differenz der elastischen Kräfte in zwei auf einander folgenden Punkten A und B. Diese Differenz ist für die Luftschicht AB die treibende Kraft. Sie ergiebt sich proportional der Entfernung vom Mittelpunkte der Schwingung. Hierdurch rechtfertigt sich die Annahme der einfach pendelartigen Bewegung. Für die Grösse der treibenden Kraft giebt die Theorie des Pendels einen zweiten Ausdruck.

Nach diesem Gedankengang stellt sich die Rechnung in den gegenwärtig üblichen Formen etwa folgendermassen: Es sei $AB = x$, die Verspätung von Punkt zu Punkt sei $= \tau$, also $x = c\tau$. Die Amplitude der Pendelbewegung sei $= a$, die ursprüngliche Entfernung x ist in irgend einem Zeitpunkt t geworden zu

$$A_1 B_1 = x + a\left[\sin\frac{2\pi}{T}(t-\tau) - \sin\frac{2\pi}{T}t\right] = x - \frac{2a\pi\tau}{T}\cos\frac{2\pi t}{T}$$

(x und τ verschwind klein gedacht).

Die ursprüngliche Elastizität e (in AB) ist zur Zeit t in $A_1 B_1$ zu e_1 geworden, wenn

$$\frac{e_1}{e} = \frac{x}{x - \frac{2a\pi\tau}{T}\cos\frac{2\pi t}{T}} = 1 + \frac{2a\pi}{cT}\cos\frac{2\pi t}{T},$$

vorausgesetzt, dass die Amplitude a gegen die Wellenlänge cT verschwindend klein gedacht wird. Die Differenz der Elastizitäten in B_1 und A_1 ist:

$$e_1' - e_1 = e\cdot\frac{2a\pi}{cT}\left[\cos\frac{2\pi}{T}(t-\tau) - \cos\frac{2\pi}{T}t\right] = e\cdot\frac{4a\pi^2}{c.T^2}\tau\sin\frac{2\pi t}{T} = e\cdot\frac{4\pi^2}{cT^2}\tau\,.\,AA_1\,.$$

Nach der Pendeltheorie ist aber dieselbe Kraft

$$= \frac{4\pi^2}{T^2}\cdot xd\,.\,AA_1,\ \text{also:}$$

$$\frac{e\tau}{c} = xd = c\tau d,\ \text{also: } c^2 = \frac{e}{d}\cdot$$

Diese Newton'sche Herleitung ist völlig elementar. Sie macht die Voraussetzung, dass die Luftteilchen einfache Pendelschwingungen ausführen. Da freilich das Resultat von der Schwingungsdauer unabhängig ist, so gilt es auch für beliebig zusammengesetzte Töne. Dies folgt aus dem Fourier'schen Satz. Im Unterricht ist dieser letzte Schluss nicht zu machen, und darum erscheint hier die Newton'sche Entwicklung lückenhaft. Selbstverständlich muss überdies in dem Ausdruck für $e_1' - e_1$ der Faktor k hinzugefügt werden.



Unter den neueren Methoden zur Behandlung unserer Aufgabe ist, so weit mir bekannt, durch Kürze vor allen anderen ausgezeichnet die von Saint-Venant in *Liouville's Journal Bd. XII 1867, S. 355* veröffentlichte und etwa 40 Jahre früher von Babinet (*Comptes rendus, B. 71, 1870*) in seinen Vorträgen benutzte Methode. Hier wird zunächst das Fortschreiten der Compression innerhalb eines prismatischen Körpers betrachtet, welcher durch eine auf eine seiner Endflächen wirkende, constante und gleichmässig verteilte Kraft P zusammengedrückt wird. In einer kleinen Zeit t schreitet die Compression eine Strecke kt vor (k = Fortpflanzungsgeschwindigkeit), es ist also die Masse $\rho\omega kt$ bewegt worden, wenn ρ die Dichtigkeit und ω den Querschnitt des Prismas bezeichnet. Alle Querschnitte längs jener Strecke kt haben dieselbe Geschwindigkeit v, denn ein constanter Druck P giebt einer der Zeit proportional wachsenden Masse ($\rho\omega kt$) eine constante Geschwindigkeit v und, soweit in der Zeit t die Compression vorgeschritten ist, so weit tritt in der gegenseitigen Entfernung der Querschnitte eine Veränderung nicht mehr ein, es kann also längs der Strecke kt eine Verschiedenheit der Geschwindigkeiten nicht vorhanden sein. Ist j die durch den Druck P hervorgebrachte Compression der Längeneinheit und E der Elastizitätsmodul, so folgt $P = E\omega j$ und, da jene Strecke kt die Contraktion ktj erleidet, so hat die Druckfläche während der Zeit t die Strecke ktj durchlaufen. Es ist also $v = kj$. Endlich ist das durch P hervorgebrachte Bewegungsmoment $\rho\omega kt \,.\, kj$, also

$$Pt = E\omega jt = \rho\omega kt \,.\, kj, \text{ folglich } k = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Diese Methode ist nicht einwurfsfrei. In dem Raum, durch welchen während der Zeit t die Compression vorschreitet, muss notwendig die Geschwindigkeit der Querschnitte bis Null abnehmen, denn die Trennungsfläche zwischen dem von der Contraktion erfassten und dem noch nicht zusammengedrückten Teil hat noch keine Geschwindigkeit. Man müsste also einen plötzlichen Übergang von der Geschwindigkeit 0 zu v annehmen. Dies aber scheint mir nicht zulässig zu sein.

Auffallend ist übrigens Saint-Venant's Urteil über Newton's Beweis. Dies sei eine „démonstration que son génie seul a comprise“ und eine „démonstration obscure et jugée inacceptable“. Wie mir scheint, genauer als Saint-Venant's Beweis ist der von Rankine. Derselbe ist in Maxwell's *„theory of heat“* mitgeteilt. Aber hier enthält die Darstellung einige sinnentstellende Irrtümer, die auch in den deutschen Übersetzungen unberichtigt geblieben sind. Maxwell verweist auf eine Originalabhandlung Rankine's in *„Phil. Trans. 1869“*. Diese habe ich vergeblich gesucht. Im *„Philosophical magazine and journal of science, t. YXXIX. 1870, S. 306“* und in den *„Proceedings of the royal society, Jun 69—70, t. XVIII, S. 80“* sind übereinstimmende Auszüge aus Rankine's Arbeit mitgeteilt. Gerade die anstössigen Stellen aber, die sich in Maxwell's Darstellung finden, sind in jenen Referaten übergegangen. Die Resultate sind hier sowohl wie dort richtig angegeben. Rankine schliesst etwa folgendermaassen:

Eine longitudinale Welle schreite von links nach rechts, von A nach B hin ohne Energieverlust mit der constanten Geschwindigkeit U vor. A und B seien zwei der Einheit gleiche Querschnitte, senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung und fest im Raum liegend. In einem beliebigen Augenblick t herrscht in A ein bestimmter Schwingungszustand und zwar sei u_1 die Schwingungsgeschwindigkeit und ρ_1 die Dichtigkeit. In B seien in demselben Augenblick t die entsprechenden Grössen u_2 und ρ_2. Die Gleichgewichtsstörung schreitet in jeder Zeiteinheit um U nach



rechts vor. Denkt man sich also jede schwingende Molekel mit dieser Geschwindigkeit U vom Augenblick t an nach links geschoben, so bleibt in jedem Punkt des Raumes der Schwingungszustand constant, nämlich derjenige, welcher im Augenblick t in der Welle daselbst vorfand. In A bleibt die Geschwindigkeit $U - u_1$ (von rechts nach links) und in $B: U - u_2$ dauernd erhalten. Da nun durch die hinzugedachte gleichmässige Verschiebung aller Molekeln nach links an ihrer gegenseitigen Lage nichts geändert wird, so müssen in der neuen Bewegung auf jede Molekel dieselben Kräfte wirken, wie in der ursprünglichen Welle. Da ferner bei der neuen Bewegung in jedem Punkte des Raumes die Geschwindigkeit dauernd sich erhält, so fliesst durch einen beliebigen Querschnitt während jeder Zeiteinheit immer dieselbe Menge Q hindurch und diese Menge Q ist auch für alle Querschnitte dieselbe, andernfalls würde ja eine unbegrenzte Verdichtung im Träger der Welle eintreten. Es ist also

$$1) \quad \ldots\ldots\ldots \quad Q = (U - u_1)\rho_1 = (U - u_2)\rho_2.$$

Die Bewegungsgrössen (von rechts nach links positiv gezählt) sind in $A: Q(U - u_1)$ und in $B: Q(U - u_2)$. Die erstere übertrifft die zweite um $Q(u_2 - u_1)$. Soviel nun die Bewegungsgrösse von A bis B abnimmt, so viel muss der Druck auf B grösser sein als der auf A, also:

$$2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad p_2 - p_1 = Q(u_2 - u_1).$$

In Maxwell's Darstellung sind die Bewegungsgrössen in A und B als Qu_1 und Qu_2 angegeben und es ist die obige Differenz $u_2 - u_1$ irrtümlich mit $u_1 - u_2$ vertauscht. Überdies werden die Querschnitte A und B zuerst mit der Welle bewegt und wie es scheint, zuletzt als fest gedacht. Durch die obige Voraussetzung, dass die Querschnitte A und B von vornherein als fest seien, scheint mir das Verständnis erleichtert zu werden.

Aus den Gleichungen 1 und 2 folgt:

$$p_2 - p_1 = Q^2\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2}\right) = \frac{Q^2}{\rho_1\rho_2} \cdot (\rho_2 - \rho_1) = (U - u_1)(U - u_2)(\rho_2 - \rho_1).$$

Da nun die Grössen u gegen U zu vernachlässigen sind, so folgt:

$$p_2 - p_1 = U^2(\rho_2 - \rho_1) \text{ oder } U = \sqrt{\frac{p_2 - p_1}{\rho_2 - \rho_1}}.$$

Ein auffallender Schluss wird noch am Ende der Maxwell'schen Darstellung gemacht. Es werden nämlich die Gleichungen (1) auf Teile der Substanz „not disturbed by the wave“, in welchen $u = 0$ ist, angewendet. Dies ist offenbar nicht gestattet, da Q für diese Teile gar nicht definiert ist.

Rankine's Methode ist durch Eleganz und Schärfe gleich ausgezeichnet. Freilich stellt sie an Vorstellungskraft und Denkfähigkeit nicht geringe Ansprüche. Die Gleichung (2) kann nur durch Summation unendlich vieler Gleichungen gewonnen werden, deren jede zwei unendlich kleine Differenzen $p - p_1$ und $u - u_1$ enthält und sich aus mechanischen Lehrsätzen ergiebt, welche das Maass der Kenntnisse unserer Schüler doch im allgemeinen überschreiten dürften. Hiervon abgesehen, verdient Rankine's Methode vor allen übrigen den Vorzug.

§ 5. Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Wellen in festen und flüssigen Körpern.

Die Längenveränderungen eines elastischen festen oder flüssigen Körpers sind dem ziehenden oder drückenden Gewicht proportional. Die Kraft, welche



die Längeneinheit um ξ verkürzt, sei $E\xi$, bei einer Verlängerung werde die Kraft negativ genommen. Ist nun die an einen Querschnitt A anstossende Schicht im Verhältnis ξ und die an den benachbarten Querschnitt B anstossende Schicht im Verhältnis ξ_1 verkürzt, so wirken auf A und B die Druckkräfte: $e = E\xi$ und $e_1 = E\xi_1$, und die Dichtigkeiten in A und B sind:

$$d = \frac{\delta}{1-\xi}, \quad d_1 = \frac{\delta}{1-\xi_1},$$

wenn mit δ die Dichtigkeit im natürlichen Zustand bezeichnet wird. Man findet also für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c der longitudinalen Wellen nach der Formel (5) in § 1:

$$c^2 = \frac{E(\xi - \xi_1)}{\delta\left[\frac{1}{1-\xi} - \frac{1}{1-\xi_1}\right]} = \frac{E}{\delta},$$

weil man $(1-\xi)(1-\xi_1) = 1$ setzen muss.

Bezeichnet man mit k das Gewicht der Längeneinheit und mit g die Beschleunigung beim freien Fall, so ist $k = \delta g$, also:

$$c^2 = \frac{Eg}{k}.$$

Endlich ist noch $E/k = 1/\xi_0$, wenn man unter ξ_0 die Verlängerung der Längeneinheit durch ihr eigenes Gewicht versteht. Schliesslich erhält man also Poisson's Formel:

$$c^2 = \frac{g}{\xi_0}.$$

§ 6. Schwingungszahl einer gespannten Saite.

Eine Saite sei durch ein Gewicht p geradlinig gespannt. Die Schwerkraft wird im Vergleich zur Spannung vernachlässigt. An irgend einer Stelle werde nun die Saite aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, jedoch so wenig, dass die Spannung p nicht merklich geändert wird. Durch die Störung des Gleichgewichts wird in der Saite eine Wellenbewegung hervorgebracht, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit c bezeichnet werde. In irgend einem Augenblick t sei ein beliebiger Punkt der Saite A nach A_1 und ein um x entfernter Punkt B nach B_1 transversal verschoben. Denkt man sich in A_1 und B_1 die Tangenten angelegt, so machen dieselben mit

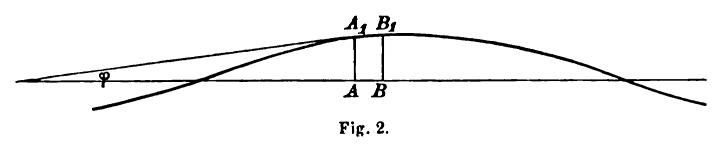


Fig. 2.

der Gleichgewichtslage der Saite gewisse Winkel φ und φ_1. Die Spannung ist nach der Voraussetzung unverändert p.

Diejenige Spannungskomponente in A_1, welche die Saite in die Gleichgewichtslage A zurückzieht, ist $p \sin\varphi$ oder, da φ ein sehr kleiner Winkel ist: $p\varphi$. Die Spannungen in A_1 und B_1 sind entgegengesetzt gerichtet, die Komponente in B_1, nämlich $p\varphi_1$, wirkt also der vorigen gerade entgegen. Auf das Stück A_1B_1 der Saite wirkt also in einer Richtung senkrecht zur Gleichgewichtslage die Kraft $p(\varphi_1 - \varphi)$. Die in A_1B_1 enthaltene Masse ist xd, wenn $AB = x$ gesetzt und unter d die Masse der Längeneinheit verstanden wird. Von der bei der Schwingung eintretenden Elongation muss abgesehen werden, da die Spannung als unveränderlich vorausgesetzt wurde. Das Stück A_1B_1 hat also die Beschleunigung $p(\varphi_1 - \varphi)/xd$. Die Welle schreite von A nach B in der Zeit τ vor, es ist also: $x = c\tau$.

φ und φ_1 sind die Winkel der Tangenten in A und in B zur Zeit t, oder auch die Winkel der Tangenten nur in A, aber zu zwei um τ getrennten Augenblicken. Die Geschwindigkeit des Punktes A verändert sich in der Zeit τ um:

$$\frac{p(\varphi_1 - \varphi)}{xd}\tau = \frac{p(\varphi_1 - \varphi)}{cd}.$$

Die Geschwindigkeitsänderung in A während der Zeit τ ist also proportional mit der Richtungsänderung der Saite in A. Die Geschwindigkeitsvermehrung in A während einer beliebigen Zeit erhält man, indem man p/cd mit der zugehörigen Richtungsänderung multipliziert. In dem Augenblick, wo sich A in seiner grössten Verschiebung befindet, ist $\varphi = 0$ und auch die Geschwindigkeit $= 0$; allgemein ist also die Geschwindigkeit v durch die Gleichung:

$$v = \frac{p\varphi}{cd}$$

bestimmt.

Die Differenz zwischen den Verschiebungen der Punkte A und B beträgt im Augenblick t: $x tg \varphi$ oder $x\varphi$. Dieselbe Differenz haben die Verschiebungen des Punktes A in den Augenblicken t und $t - \tau$. Derselbe hat also die Strecke $x\varphi$ mit der Geschwindigkeit v in der Zeit τ durchlaufen, so dass man erhält $v\tau = x\varphi$ oder

2) . . . . $v = c\varphi$.

Die Gleichungen (1) und (2):

$$v = \frac{p\varphi}{cd} = c\varphi$$

ergeben:

3) . . . . $c = \sqrt{\frac{p}{d}}$,

oder, wenn man mit k das Gewicht der Längeneinheit bezeichnet:

$$c = \sqrt{\frac{g \cdot p}{k}}.$$

p/k bedeutet diejenige Länge der Saite, deren Gewicht der Spannung p gleich ist. Diese Länge sei L. Man erhält also schliesslich:

$$c = \sqrt{g \cdot L}$$

und hieraus für die Schwingungszahl n des Grundtons der Saite von der Länge L die Taylor'sche Formel:

$$n = \frac{c}{2l} = \frac{1}{2l}\sqrt{g \cdot L}.$$

Physikalische Aufgaben.

Von

M. Koppe in Berlin.

In der Physik ist es einerseits nötig, die Thatsachen genau zu erfassen, andererseits ihren Zusammenhang, d. h. ihre Unterordnung unter gewisse Gesetze, klar zu übersehen. Ein Prüfstein für die Erfüllung der ersten Forderung besteht in klarer, sachgemässer Beschreibung, für die der zweiten in der Fähigkeit, aus bekannten Merkmalen eines Vorgangs auf andere notwendig sie begleitende zu schliessen.

Dementsprechend ist das physikalische Können des Schülers nach zwei Richtungen hin durch Übungen zu fördern, welche Stoff zu Aufgaben bieten.

Was die erste Art betrifft, so eignet sich zu schriftlichen Ausarbeitungen die Beschreibung von Apparaten und qualitativen Versuchen, allerdings nur dann, wenn dieselben im Lehrbuch fehlen, da sonst die willige Anlehnung an gedruckte Autorität es schwer zu einer selbständigen Leistung kommen lässt. Dagegen bieten alle quantitativen Versuche, welche zur Ableitung der im Lehrbuch dogmatisch angegebenen Gesetze und Constanten unerlässlich sind, reichlichen Stoff. Es gehört hierher die Bestimmung des specifischen Gewichts, die Bestimmung von g durch Pendelbeobachtungen, der specifischen und latenten Wärme aus Mischungsversuchen, der Ausdehnungscoefficienten, des Reduktionsfaktors der Tangentenbussole, der elektromotorischen Kraft und des galvanischen Widerstandes, ferner die Bestimmung der Schwingungszahl eines Tones nach verschiedenen Methoden, der Wellenlänge des Lichts, die Bestimmung der geographischen Breite, die Zeitbestimmung mit dem Sextanten u. s. w. Wer sich hier auf blosse Rechenaufgaben beschränkt, bei denen die Daten nicht gemessen, sondern willkürlich gewählt sind, verleitet den Schüler dazu, die Ausrechnung für das Wesentliche zu halten und sich die Genauigkeit der vorkommenden Zahlen als unbegrenzt vorzustellen. In ähnlicher Weise erscheint die Trigonometrie, die durch Benutzung der Tafeln den rein theoretischen Boden verlässt, dem Schüler in einem ganz falschen Licht, wenn er sie nur zu Berechnungen aus erdachten Daten verwendet. Ein natürliches Interesse kann nur erwartet werden, wenn man auch im Unterricht von den Gesichtspunkten ausgeht, welche zur Entwicklung der Wissenschaft geführt haben. Es soll indess nicht bestritten werden, dass zur Einübung der an einen Versuch sich schliessenden Rechenaufgaben und zur Erläuterung eines Gesetzes einige Beispiele mit anderen als den experimentell gefundenen Zahlen von Nutzen sind. Die oben angeführten Aufgaben geben auch Gelegenheit, die Reduktionen, z. B. eines Gasvolumens oder einer Wägung, zu besprechen, doch wird eine mässige Zahl von numerischen Beispielen genügen, da sich neue physikalische Gesichtspunkte dabei nicht ergeben.

Die zweite Art physikalischer Aufgaben verlangt eine produktive Thätigkeit und hat solche Schlüsse geläufig zu machen, wie sie bei physikalischen Untersuchungen vorkommen. Es gehört hierher die Erklärung einer zusammengesetzten physikalischen Erscheinung aus den bekannten Grundgesetzen und die Vorausbestimmung des Resultats eines möglichen Versuchs. Es ist durchaus nötig, dass physikalische Begriffe wesentlich an der Lösung der Aufgabe beteiligt sind, während die grössere oder geringere Schwierigkeit der etwa erforderlichen mathematischen Rechnungen gar nicht ins Gewicht fällt. Aufgaben, in denen nur die Bestimmung des mathematisch definierten Schwerpunkts oder Trägheitsmoments für complizierte Körper gefordert wird, sind höchstens von Nutzen für die Einübung der mathematischen Theorie der Reihen höherer Ordnung, deren umständliche Anwendung man gerade durch physikalische Betrachtungen häufig vermeiden kann. Aus einer wirklich physikalischen Aufgabe müsste der Begriff des Trägheitsmoments nach seiner wahren physikalischen Definition hervorgehn, und es wäre dann für das Wesen der Sache gleichgiltig, ob man es mit einem stetigen Körper oder etwa nur zwei distincten Massenpunkten zu thun hätte.

Die Aufgaben sollten so gewählt werden, dass sie ohne specielle Anweisungen lösbar sind. Eine etwaige Vorbereitung darf wenigstens nicht soweit gehen, dass dadurch das physikalische Denken des Schülers unnötig gemacht wird. Fügt man



der Aufgabe über die Kraft, mit der die Magdeburger Halbkugeln einer Trennung widerstehen, die Anleitung hinzu, dass der Luftdruck für die gemeinsame Grundfläche zu berechnen ist, so stellt man die physikalische Seite des Problems ausser Diskussion. In einer Aufgabensammlung findet sich bei einer Frage über das konische Pendel die falsche Anleitung, dass man in dem Ausdrucke für die Schwungkraft als Radius die Pendellänge zu nehmen hat. Der Schüler erhält als Lohn für die Befolgung dieser Vorschrift ein mit den Auflösungen übereinstimmendes Resultat.

Auch die Angabe von Constanten kann zu einer unzulässigen Beeinflussung führen, insofern dadurch dem Schüler ein spezieller Weg der Lösung vorgezeichnet wird. Giebt man überdies in jeder neuen Aufgabe für die Constanten einen neuen Wert von übertriebener oder unmöglicher Genauigkeit an, so wird dadurch ihre fundamentale Bedeutung verwischt, sie erscheinen als willkürliche Daten. Am besten überlässt man es dem Schüler, sich die Constanten, soweit sie noch nicht im Gedächtnis haften, im Lehrbuch aufzusuchen. Er wird so zugleich wieder an die Art ihrer Ermittlung erinnert.

Endlich erfordert die Fassung der Aufgaben besondere Sorgfalt, da sonst leicht das Einschleichen fehlerhafter Vorstellungen begünstigt wird, z. B. wenn man eine Aufgabe über eine auf der schiefen Ebene rollende Kugel stellt, um sie mittelst der Formeln für die gleitende Bewegung lösen zu lassen.

Durch die vorhandenen Sammlungen wird das Bedürfnis nach physikalischen Aufgaben der zweiten Art nicht ausreichend befriedigt. Besonders fehlt es auch noch an solchen, in denen verschiedene Gebiete der Physik organisch mit einander verknüpft wären, während eine lockere Verbindung vieler an einander gereihter Fragen häufig vorkommt. Es ist daher wünschenswert, dass Aufgaben der bezeichneten Art durch Veröffentlichung an dieser Stelle der allgemeineren Benutzung zugänglich gemacht werden. Den Anfang dazu sollen die nachstehenden Aufgaben bilden, denen kurze Lösungs-Andeutungen beigefügt sind.[1])

---

1. Drei enge vertikale Röhren von gleichem Querschnitt sind durch eine obere und eine untere horizontale Röhre so verbunden, dass ein vollständig geschlossener Hohlraum entsteht, der bis zu einer gewissen Höhe der vertikalen Röhren mit Wasser gefüllt sei. Wie ändert sich das Niveau, wenn dieses System um die Achse der mittleren Röhre, die von den äusseren gleichen Abstand r habe, mit der Winkelgeschwindigkeit ϑ rotiert? —

Denkt man sich, dass im Innern eines grossen mit Wasser gefüllten Gefässes, während es um eine vertikale Achse mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotiert, die den oben beschriebenen Hohlraum begrenzenden Wände entstehen, so ist klar, dass das Wasser innerhalb jeder Röhre so hoch wie aussen steht, dass also die Punkte, bis zu denen es die Röhren erfüllt, der Niveaufläche angehören, die hier ein Rotations-Paraboloid vom Parameter $p = g / \vartheta^2$ ist. Steigt daher das Wasser in jedem äusseren Rohre um die Strecke u über das ursprüngliche Niveau, wodurch im mittelsten ein Fallen um $2u$ veranlasst wird, so besteht die Gleichung $y^2 = 2px$ für $x = 3u$, $y = r$, woraus schliesslich folgt

$$u = r^2 \vartheta^2 / 6g.$$

2. In einem zum Teil mit Wasser gefüllten Gefässe schwimme stabil ein Holzcylinder vom specifischen Gewicht $s = 2/3$, dem Radius $r = 3$ cm, der Höhe

---

[1]) Um Einsendung weiterer Aufgaben behufs einer regelmässigen Zusammenstellung bittet *d. Herausgbr.*



$h = 3$ cm, so dass seine Grundflächen horizontal sind. Versetzt man das Gefäss in Rotation um eine vertikale Achse, so begiebt sich der Schwimmer nach der Mitte und taucht tiefer ein. Bei welcher Winkel-Geschwindigkeit ϑ wird er bis zum obern Rande eintauchen? —

Nach dem Archimedischen Prinzip ist die Masse des Schwimmers gleich der des von ihm verdrängten Wassers. Letztere ist aber oben nicht durch die ebene Grundfläche des Cylinders, sondern durch die Fortsetzung der Niveaufläche zu begrenzen, die ein Rotations-Paraboloid vom Parameter $p = g / \vartheta^2$ ist. Der Scheitelpunkt desselben liege um die Strecke x unterhalb der obern Endfläche des Schwimmers. Dann hat man, da ein Rotationsparaboloid gleich einem Kreiscylinder von gleicher Grundfläche, aber halber Höhe ist,

$$h - \frac{x}{2} = h \cdot s.$$

Hieraus folgt x, dann ist zufolge der Gleichung der Parabel, die durch den Rand des Schwimmers hindurchgeht,

$$r^2 = 2px$$

woraus sich p ergiebt, und endlich

$$\vartheta^2 = 4gh/(1-s)r^2.$$

3. Ein cylindrisches Gefäss vom Radius R ist bis zur Höhe H mit Wasser gefüllt, auf welchem ein Holzcylinder vom Radius r, der Höhe h, dem specifischen Gewichte s schwimmt. Um wieviel senkt sich der Schwimmer, wenn man das Gefäss mit der Winkelgeschwindigkeit ϑ um seine Achse rotieren lässt? —

Man denke sich die Niveaufläche der rotierenden Flüssigkeit in das Innere des schwimmenden Cylinders fortgesetzt, und lege durch den Scheitelpunkt des Paraboloides eine horizontale Ebene. Diese habe vom Boden des Gefässes den Abstand Z, von dem höchsten Punkte, bis zu dem das Wasser gestiegen ist, die Entfernung X. Entsprechend sei dieselbe Ebene vom Boden des Schwimmers um z, von dem Punkte, bis zu dem ihn das Wasser benetzt, um x entfernt. Dann ist

$$p = g/\vartheta^2, \quad R^2 = 2pX, \quad r^2 = 2px,$$

woraus x und X bekannt sind.

Das Volumen der von dem Schwimmer verdrängten Flüssigkeitsmasse ist das eines Cylinders von gleichem Querschnitt und der Höhe $z + x/_2$, so dass nach dem Archimedischen Prinzip

$$z + \frac{x}{2} = h \cdot s.$$

Ersetzt man den Schwimmer durch die äquivalente Wassermasse, so wird das Gefäss ursprünglich bis zur Höhe H vom Wasser eingenommen, während bei der Rotation die paraboloidisch begrenzte Wassermasse einem Cylinder von der Höhe $Z + X/2$ an Volumen gleichkommt, daher ist

$$Z + \frac{X}{2} = H.$$

Die untere Grenzfläche des Schwimmers hat vom Boden des Gefässes den Abstand

$$Z - z = H - hs - {}^1/_2(X - x) = H - hs - \vartheta^2(R^2 - r^2)/4g.$$

Die durch die Rotation bewirkte Senkung des Schwimmers beläuft sich also auf

$$\vartheta^2(R^2 - r^2)/4g.$$

4. Welches ist die Siedetemperatur des Wassers in der Höhe des Montblanc (4810 m)? —

Ausser der barometrischen Höhenformel ($h = 18400 \log B/b$) wird hier noch die Abhängigkeit der Spannkraft gesättigten Wasserdampfes (p) von der Temperatur (t) vorausgesetzt. Diese wird gewöhnlich durch Tabellen, seltener durch Formeln mit vielziffrigen Constanten für begrenzte Temperatur-Intervalle ausgedrückt. Die Tabellen ergeben, dass nahezu für

$t =$ 49°	64°	81°	100°	121°	144°	169°	196° (Celsius):
$p =$ $^1/_8$	$^1/_4$	$^1/_2$	1	2	4	8	16 (Atmosphären),

welche Reihe durch die Gleichungen $t=(10+n)^2$, $p=2^n$ ersetzt und dadurch auch auf Zwischenwerte ausgedehnt werden kann. Für Temperaturen unter 40° wird dieses einfache und leicht im Gedächtnis festzuhaltende Gesetz ungenau und schliesslich unmöglich, so dass es in dieselbe Kategorie wie das Bode'sche Gesetz über den Abstand der Planeten gehört.

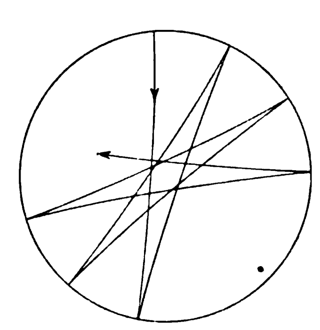
Das Foucault'sche Pendel.

Von **M. Koppe** in Berlin.

(Ergänzung des Aufsatzes im ersten Heft.)

Über das Foucault'sche Pendel sind in der jüngsten Zeit zwei Arbeiten erschienen, eine experimentelle von P. Czermak und R. Hiecke[1]), eine theoretische von Weihrauch[2]), die erst nach dem Erscheinen des ersten Heftes zur Kenntnis des Verfassers gelangten.

Die in der ersten beschriebenen Versuche wurden, bei einer Pendellänge von 13 m, mit einer 30 kg schweren Pendelkugel angestellt, welche mit einer elektrisch auszulösenden und anzuhaltenden Schreibvorrichtung versehen war. Ein Strom, der durch die bügelförmige Aufhängung und den Pendelfaden zugeleitet, durch einen dem letzteren parallelen dünnen Draht in eine über dem Aufhängepunkt schwebende Quecksilberschale zurückgeleitet wurde, diente dazu, durch elektromagnetische Anziehung eines Ankers die Zeichenfeder, eine unter der Pendelkugel hängende mit Anilintinte gefüllte Capillarröhre, zu heben oder zu senken. Es zeigte sich, dass nach zwei auf einander senkrechten Hauptrichtungen die Schwingungen längere Zeit geradlinig blieben, zu jeder Seite einer solchen bald in Ellipsen von entgegengesetzter Umlaufsrichtung übergingen. Die hiernach vorhandenen störenden Einflüsse wurden dadurch compensiert, dass man die Pendelschwingungen nacheinander aus zwölf, je um 15° verschiedenen, Azimuten beginnen liess, bei der ersten und letzten Schwingung jedes 15^{min} währenden Versuches wurde die Schreibvorrichtung in Thätigkeit gesetzt, und die stündliche Drehung der Pendelebene als Mittel der Einzelwerte berechnet. Das Resultat eines vollständigen, fünf Stunden dauernden Versuchs stimmte bis auf 0°,04 mit dem theoretischen Werte (11° 1′ für Graz) überein, während die Teil-Versuche bis 0°,7 davon abwichen. Dasselbe Pendel wurde zur vollständigen Aufzeichnung Lissajous'scher Figuren benutzt, es war dazu auf 4 m verkürzt und an einer horizontalen elastischen Stahllamelle aufgehängt worden, durch deren Einfluss die Schwingungsdauer von der Schwingungsrichtung erheblich abhängig wurde. Endlich wurde bei noch geringerer Länge die Axendrehung der elliptischen Bahn eines sphärischen Pendels damit nachgewiesen. Auf den der Abhandlung beigefügten 6 Tafeln finden sich viele Copien der von dem Pendel gezeichneten Curven von ausserordentlicher Regelmässigkeit.



Die Arbeit von Weihrauch behandelt die relative Bahn eines — wie wir voraussetzen können — am Pole aufgehängten mathematischen Pendels und gelangt zu einem andern Resultat als dem in Heft I mitgeteilten, nämlich einer Curve von beistehender Gestalt. Dabei ist angenommen, dass das Pendel seine Bewegung aus der grössten Elongation ohne Anfangsgeschwindigkeit beginnt, nicht wie bei uns in Folge eines Stosses aus der Mitte. Es lässt sich leicht zeigen, dass die Bahn in beiden Fällen zu den Hypocykloiden gehört. Rollt in einer horizontalen Ebene ein Kreis mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf der innern Peripherie eines andern von

---

[1]) Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-phys. Classe, Bd. 91, 1002—1012.

[2]) Exner's Repert. d. Physik, Bd. XXII.



doppeltem Radius, so beschreibt bekanntlich jeder Punkt seines Umfanges oder seiner Ebene eine geradlinige oder elliptische Bahn nach denselben Gesetzen wie ein Pendel. Soll die einfache Schwingungsdauer $= t$ sein, so muss der rollende Kreis während der Zeit $2t$ zum Ausgangspunkt zurückkehren, und da er in dieser Zeit auch wieder dieselbe Orientierung bezüglich der Grundebene erhält, so ist seine Winkelgeschwindigkeit um den augenblicklichen Berührungspunkt $= \theta = \pi/t$. Hierdurch wird die absolute Bewegung eines Pendels dargestellt, wie sie sich auf eine feste an der Erdrotation nicht teilnehmende Ebene projiciert. Man erhält daraus die relative Bahn, wenn man während der Entstehung der Hypocykloide die Grundebene im Sinne des Uhrzeigers mit der Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation $= \vartheta$ rotieren lässt. Die Bewegung des rollenden Kreises in Bezug auf die Erdoberfläche resultiert dann daraus, dass er erstens um den augenblicklichen Berührungspunkt A mit der Winkelgeschwindigkeit θ, und dass er nun noch zweitens samt dem grossen Kreise um dessen Mittelpunkt P mit der geringen Geschwindigkeit ϑ rotiert. Aus diesen Componenten ergiebt sich in jedem Augenblick eine Rotation von der Geschwindigkeit $(\theta + \vartheta)$ um einen Punkt B, welcher als Schwerpunkt der Massen θ in P und ϑ in A gefunden wird. Wir wollen dabei annehmen, dass der Sinn der Rotationen θ und ϑ derselbe ist. Dies ist gestattet, weil man für θ die Wahl zwischen zwei entgegengesetzten Werten hat, je nachdem man die — im allgemeinen elliptische — Pendelbahn durch einen Punkt der inneren oder äusseren Ebene eines rollenden Kreises beschreiben lässt. Werden nun statt der bisher betrachteten beiden Kreise zwei ihnen concentrische construiert, deren Peripherien durch B hindurchgehen, so sind dies die Örter der augenblicklichen Drehungspole für die relative Bewegung, die durch das Abrollen des kleineren Kreises im grösseren herbeigeführt werden kann. Der Durchmesser des ersteren ist um die kleine Strecke AB kleiner als der Radius des andern. Wird das Pendel durch einen Stoss aus der Mitte in Bewegung gesetzt, so hat der die Bahn beschreibende Punkt die Anfangslage P, liegt also in der erweiterten Ebene des rollenden Kreises. Wird die Bewegung durch Abbrennen eines Fadens erzeugt, so hat das Pendel die relative Anfangsgeschwindigkeit 0, der beschreibende Punkt kann daher nur den Berührungspunkt B zur Anfangslage haben, er ist also auf dem Umfange des rollenden Kreises anzunehmen.

Betrachtet man als Schwingungsdauer des Foucault'schen Pendels die Zeit zwischen zwei grössten Elongationen, so folgt aus dem obigen, dass diese durch die Erdrotation nicht beeinflusst wird. Das von Weihrauch gefundene dem Quadrat von ϑ proportionale Glied fällt fort, wenn in den Differenzialgleichungen ausser der Coriolis'schen Kraft auch die Schwungkraft, $r\vartheta^2$, berücksichtigt wird, oder, da man diese gewöhnlich zur Schwerkraft zieht, wenn man auf die Änderung der letzteren von einem Punkt der Pendelbahn zum andern Rücksicht nimmt.

Die betrachteten Curven kommen noch bei einem andern Problem vor. Wird von einem Punkte der Erdoberfläche eine Kugel horizontal mit solcher Geschwindigkeit abgeschossen, dass sie sich nach Art eines Mondes in einer Kreisbahn um den Erdmittelpunkt bewegt, so ist die relative Bahn derselben keine geschlossene in sich zurücklaufende Linie, vielmehr projiciert sie sich auf die Ebene des Äquators als Hypocykloide. Da die für die Kugel erforderliche absolute Geschwindigkeit 17 mal so gross ist als die eines Punktes am Äquator, so muss man den beschreibenden Punkt in der Ebene oder auf dem Umfang eines Kreises vom Durchmesser 16 annehmen, der innerhalb eines andern Kreises vom Radius 17 rollt.



Robert Gustav Kirchhoff.

† am 17. October 1887 zu Berlin.

In Robert Gustav Kirchhoff hat die deutsche Wissenschaft einen Forscher von genialster Eigenart verloren. In seinem Geiste war die Kraft abstraktesten Denkens mit der Gabe intuitiver Durchdringung der Wirklichkeit vereinigt. Sein klarer Blick vermochte die Elementar-Thatsachen zu erfassen, welche das Wesen der verwickelteren Erscheinungen ausmachen, und deren Zugrundelegung erst eine erfolgreiche analytische Behandlung der Probleme ermöglicht. Darum war seine Forschungsweise unnachahmlich, seine Entdeckungen vielmehr den Erzeugnissen wahrhaft künstlerischen Schaffens vergleichbar.

Eine der frühesten Arbeiten Kirchhoff's, *„Über das Gleichgewicht und die Bewegung einer elastischen Scheibe“* (1850), liefert ein deutliches Zeugnis von seiner Art des Forschens. Sophie Germain hatte eine Hypothese ‚ersonnen' und daraus Rechnungen hergeleitet, deren Resultate mit der Erfahrung anscheinend übereinstimmten. Kirchhoff zeigte, dass diese Übereinstimmung nur ‚zufällig' war, da sich aus jener Hypothese Folgerungen ziehen liessen, die mit der Wirklichkeit im Widerspruch standen. Im Gegensatz dazu gründete er seine Weiterbildung der Poisson'schen Theorie auf zwei ‚Annahmen', die er als Ergebnisse des Experiments bezeichnete, und deren Benutzung zu einer ‚ausgezeichneten' Übereinstimmung mit der Wirklichkeit führte. Weitere besonders bemerkenswerte Beispiele von der Kunst Kirchhoff's, die Voraussetzungen für die Behandlung eines Problems zutreffend festzustellen, bieten die Abhandlungen *„Über die Ableitung des Ohm'schen Gesetzes“* (1849), *„Über die Bewegung der Elektricität in Drähten“* (1857) und *„Zur Theorie der Entladung einer Leydener Flasche“* (1864). In allen Fällen waren die Sätze, welche Kirchhoff seiner Untersuchung als Annahmen voranstellte, der Ausdruck einer tieferen Einsicht in die Natur der Erscheinungen.

Die bekannteste und zugleich die glänzendste Leistung Kirchhoff's aber ist die Spectralanalyse. Dachte doch die kühnste Phantasie nicht an die Möglichkeit, jemals etwas über die chemische Natur der Himmelskörper in Erfahrung zu bringen. Selbst ein so exakter Denker wie Auguste Comte hatte (im Jahre 1829) nicht Anstand genommen zu versichern, dass wir durch kein Mittel je in den Stand gesetzt werden könnten, die chemische Konstitution oder die mineralogische Struktur jener Körper zu studieren. Dem gegenüber bedeuten die beiden kurzen Aufsätze Kirchhoff's *„Über die Fraunhofer'schen Linien“* und *„Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme“*, die in den Monatsberichten der Akademie der Wissenschaften zu Berlin (im Oktober und Dezember 1859) veröffentlicht wurden, eine That, welche eine neue Epoche in der Erkenntnis des Weltalls eröffnete. Ihnen folgte (1860) die gemeinsam mit Robert Bunsen verfasste Abhandlung *„Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen“* (*Poggendorff's Annalen CX*), endlich (1862) die klassischen *„Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectra der chemischen Elemente“*. Das Verdienst der Kirchhoff'schen Entdeckung liegt nicht sowohl in der Bemerkung einer frappanten Analogie oder eines erfahrungsmässigen Zusammenhanges zwischen Flammenfärbung und chemischer Constitution, als vielmehr in der wahrhaft bewundernswerten theoretischen Begründung jener Analogie und dieses Zusammenhanges. Es war ein Erstaunliches, wie aus bloss gedanklich ausführbaren Versuchen mit Objekten des zerlegenden Denkens, die in keiner Wirklichkeit rein anzutreffen sind, Folgerungen gezogen wurden, die von unmittelbarster Gültigkeit für das thatsächliche Geschehen sich erwiesen. Diese Leistung bildet den Triumph und die höchste Bewährung der Kirchhoff'schen Methode.

Die Forschungen Kirchhoff's erstrecken sich über das ganze weite Gebiet der Physik; sie sind (1880) in den „Gesammelten Abhandlungen“ zu einem Bande vereinigt worden. Diesen reihen sich vier weitere Aufsätze an, die von 1881 bis 1885 in den Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften erschienen sind. Ein wertvolles



Vermächtnis endlich sind die erst zu einem Teil veröffentlichten „Vorlesungen über mathematische Physik“, die in ihrer meisterhaften Darstellungsform ein Grundbuch des physikalischen Studiums bleiben werden.

KIRCHHOFF war am 12. März 1824 zu Königsberg geboren, hatte sich 1847 in Berlin habilitiert, war 1850 als ausserordentlicher Professor nach Breslau und 1854 als ordentlicher Professor nach Heidelberg berufen worden. Seit 1875 gehörte er der Berliner Universität an. Seine Lehrthätigkeit war in ihrem theoretischen Teil durch grösste Deutlichkeit und Schärfe, in ihrem experimentellen Teil durch äusserste Sorgfalt und Genauigkeit ausgezeichnet; in den praktischen Übungen, die er in Heidelberg allsommerlich leitete, wusste er jeden Einzelnen auf das liebevollste zu fördern; wem es vergönnt gewesen ist, ihm persönlich nahe zu treten, dem ist ein unvergesslicher Eindruck geworden von edelster Güte, klarster Besonnenheit, unbedingter Wahrhaftigkeit des Forschens und des Empfindens.

Fritz Poske.

Kleine Mitteilungen.

Ein Versuch über die Fliehkraft.

Von Prof. **A. Handl** in Czernowitz.

Aus der Formel $f = 4\pi^2 mR/gT^2$ für die Grösse der Fliehkraft, wofür man bis auf $^1/_2$% genau $f = 4mR/T^2$ schreiben kann, wenn R in Metern, T in Secunden ausgedrückt ist, folgt, dass die Fliehkraft eines Körpers seinem Gewichte gleich wird, wenn $4R = T^2$ ist. Also z. B. bei $R = 1$ m, wenn $T = 2^{\text{sec.}}$, oder bei $R = 0{,}25$ m, wenn $T = 1^{\text{sec.}}$ und bei $R = 1$ cm, wenn $T = 0{,}2^{\text{sec.}}$, d. h. wenn 5 Umdrehungen in der Sekunde gemacht werden.

Um die Giltigkeit dieser Beziehungen nachzuweisen, kann man eine Vorrichtung anwenden, welche einem allgemein verbreiteten Hilfsapparate zur Schwungmaschine (vergl. *Weinhold, Demonstrationen, 2. Aufl. S. 87. Fig. 75 B.)* nachgebildet ist.

Sie besteht aus einer Blechschiene ab von 80 cm Länge (soviel als die Höhe meiner Schwungmaschine erlaubte) und 3,5 cm Breite, welche in der Mitte mit einem Zapfen c zum Aufsetzen auf die Achse der Schwungmaschine versehen ist. Dieselbe trägt sechs zu ihr senkrecht stehende Blechscheiben d, d, welche sämtlich in 2 cm Abstand von der Längsschiene durchlocht sind, um einen Führungsdraht von 4 mm Dicke durchzulassen. Letzterer wird von aussen, bei a und b, von zwei Schraubenmuttern gehalten. Auf diesem Führungsdrahte befinden sich drei Holzkugeln von 3 cm Durchmesser, und mit so grossen Bohrungen versehen, dass sie ganz leicht hin und her gleiten können; und zwar sind sie in den einzelnen durch die Scheidewände d, d gebildeten Fächern so verteilt, wie die Figur zeigt. Ich hatte anfangs in jedes der fünf Fächer eine Kugel gegeben, fand aber, dass die Beobachtung leichter auszuführen ist, wenn nicht je zwei Kugeln in gleichen Abständen von der Achse stehen. Die verhältnismässig kleine Ungleichmässigkeit in der Verteilung der Masse zu beiden Seiten der Drehungsachse übt keinerlei störenden Einfluss auf die Drehbewegung aus.

Die Umdrehungszeit T lässt sich mit hinreichender Genauigkeit dadurch beobachten, dass ein Vorsprung am einen Ende der Schiene ab bei jeder Umdrehung einen kleinen Winkelhebel streift, welcher einen Hammer gegen eine Glocke anschlagen macht, oder auch gegen eine schwache Feder schlägt, welche bei jedem Anschlage einen hörbaren Ton giebt.

Bei sehr langsamer Drehung der Schiene um die wagerechte Achse c gleiten alle

drei Kugeln auf dem Leitdrahte hin und her, indem sie stets nach unten fallen. Bei allmählicher Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit verbleibt zuerst die äusserste, dann die mittlere, und endlich auch die innerste Kugel während der ganzen Umlaufszeit am äussersten Ende des ihr zur Verfügung stehenden Weges.

Zur Darstellung einfacher Schwingungen.

Von Prof. **A. Handl** in Czernowitz.

Im I. Heft d. Z. S. 25 wird von J. Bergmann in Greifswald ein Apparat beschrieben, welcher dazu bestimmt ist, zu zeigen, dass die Projektion eines sich mit constanter Geschwindigkeit auf einem Kreise bewegenden Punktes auf den Durchmesser dieses Kreises sich nach dem Gesetze einer einfachen Schwingung (Sinusschwingung) bewegt.

Ich benutze seit vielen Jahren zu dem gleichen Zwecke eine Vorrichtung, welche von der Bergmann'schen nur in unwesentlichen Punkten abweicht; ich habe nämlich statt des ganzen, in Fig. 3 S. 27 dargestellten Rades nur eine Speiche, um den dort mit *INKO* bezeichneten Teil in seiner Führung wagerecht hin und her zu schieben; das Gehäuse und dessen vorderer Deckel fehlt ganz, so dass alle Teile frei sichtbar sind.

Ich mache diese Mitteilung nur um darauf hinzuweisen, wie man den Gebrauch der Vorrichtung noch erweitern kann. Ich befestige an einer Stelle, etwa K, einen feinen Pinsel, welchen ich auf einem bestaubten Glasstreifen eine Wellenlinie zeichnen lasse, indem ich den Glasstreifen mit möglichst constanter Geschwindigkeit unter dem Pinsel, senkrecht gegen dessen Bewegungsrichtung, wegziehe. Wenn es gelingt, die Kurbel recht gleichmässig herumzudrehen, kann man an der so gezeichneten Linie nachweisen, dass sie eine Sinuslinie ist, und kann auch zeigen, dass sie mit derjenigen Linie übereinstimmt, welche ein hinreichend langes Pendel bei gleicher Schwingungsdauer und Schwingungsweite zeichnet. Ferner benutze ich dieselbe Vorrichtung, um transversale stehende Wellen zu erzeugen, indem ich das eine Ende eines dünnen Kautschukschlauches von ungefähr 4 m Länge an K, das andere an einem Haken in der Wand befestige.

Zur Lehre von der Standfestigkeit.

Von Prof. **A. Weinhold** in Chemnitz.

(Mitgeteilt aus der 2. Aufl. der Physikal. Demonstrationen.)

Den Satz, dass ein Körper um so fester steht, je schwerer er ist, je tiefer sein Schwerpunkt liegt und je weiter die Falllinie von der Umwerfungskante entfernt ist, leitet man zumeist aus der Formel für die Grösse der zum Umwerfen erforderlichen Kraft $K = Pa/h$ ab, in welcher P das Gewicht des Körpers, h die Höhe des Schwerpunktes über der Umwerfungskante, a der Abstand der Falllinie von dieser Kante ist. Dieser Formel liegt aber die willkürliche Annahme zu Grunde, dass die umwerfende Kraft in der Höhe des Schwerpunkts angreift und horizontal wirkt. Richtiger ist die Ableitung jenes Satzes aus der Grösse der beim Umwerfen zu leistenden Arbeit. Da beim Umwerfen der Schwerpunkt aus der Höhe h bis in die Höhe $\sqrt{a^2 + h^2}$ geschoben wird, so ist die zu leistende Arbeit

$$A = P\left(\sqrt{a^2 + h^2} - h\right).$$

Die Formel zeigt unmittelbar, dass A um so grösser ist, je grösser P und a sind. Multipliziert und dividiert man rechts mit $\sqrt{a^2 + h^2} + h$, so erhält man

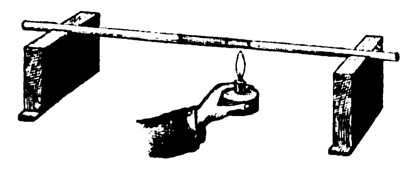
$$A = \frac{Pa^2}{\sqrt{a^2 + h^2} + h},$$

woraus hervorgeht, dass A mit wachsendem h abnimmt.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Ein Vorlesungsversuch über die Adhäsion der Flüssigkeiten. Es ist bekannt, dass sich die Adhäsion der Flüssigkeiten mit der Temperatur ändert. Dies wird von W. HOLTZ (*Nachr. v. d. K. Ges. d. W. zu Göttingen, 1886 No. 18*) auf folgende sehr einfache und zugleich sehr augenfällige Weise demonstriert. Auf zwei Holzklötzchen, in welche eine Nute gefeilt ist, und welche durch untergesetzte Keile leicht etwas höher oder tiefer zu stellen sind, wird eine 5—6 mm weite Glasröhre, in welche zuvor ein kurzer Wasserfaden gebracht ist, so gelegt, dass dieser in ihrer Mitte ruht. Wird nun das eine Ende des Fadens etwas erwärmt, indem man auf Augenblicke eine Spiritusflamme oder ein Streichhölzchen unter die Röhre bringt, so bewegt er sich sofort von der Erwärmungsstelle abwärts, weil die Adhäsion kleiner, die concave Oberfläche ebener und somit die Oberflächenspannung grösser wird. Je weiter die Röhre, um so beweglicher ist der Wasserfaden, und bei um so geringerer Erwärmung tritt die Bewegung ein, nur dass in weiteren Röhren der Faden zerfliessend schnell an Länge verliert. Ist die Röhre zugleich sehr dünnwandig, so lässt sich schon durch die Wärme des Athems eine Bewegung bewirken. Mit Wasser gelingt der Versuch leichter als mit andern Flüssigkeiten. Bei Quecksilber hat sich, vermutlich, weil es nicht rein und somit nicht beweglich genug war, überhaupt keine Bewegung erzielen lassen. (*Mitget. v. Verf.*)

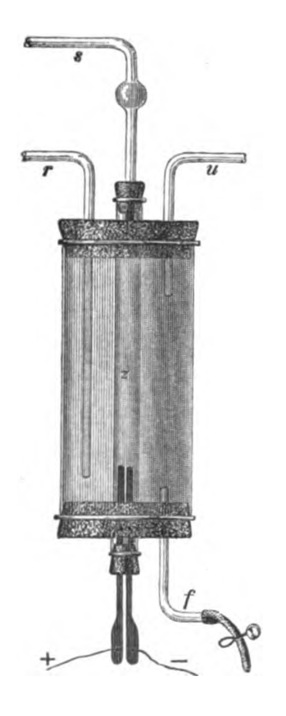


Darstellung von Schwingungscurven. Dem von J. Bergmann in Heft I beschriebenen Apparat ähnlich ist eine Vorrichtung, die von E. MACH in *Pogg. Ann. 129, 464 (1866)* angegeben worden ist, um auch Combinationen von einfachen Schwingungen mechanisch und graphisch darzustellen. Mehrere Räder, deren Durchmesser sich z. B. wie $1 : {}^1/_2 : {}^1/_3$ verhalten, sind neben einander auf die Weise angeordnet, dass ihre Umfänge mit Kautschuk überzogen und aneinander gepresst sind. Jedes Rad trägt einen Stift, der in den horizontalen Schlitz je eines vertikal beweglichen Schiebers eingreift. Die Bewegungen, der Schieber können durch Rollen und durch eine Schnur, die der Reihe nach über sämmtliche Rollen geführt ist, auf einen Schreibstift übertragen werden. Wird eines der Räder durch eine Kurbel in Umdrehung gesetzt, so kommen die anderen Räder zugleich in Bewegung und der Stift beschreibt auf einer passend angebrachten Platte eine Curve, welche einem Klange aus den drei ersten Partialtönen entspricht. Die Platte kann überdies durch einen Faden, der um den Umfang des grössten Rades geführt ist, gleichmässig unter dem Schreibstift fortgezogen werden, so dass man Lissajous'sche Figuren erhält, deren Art von der Zahl und den relativen Durchmessern der angewandten Räder abhängig ist.

Über das Schallleitungsvermögen hat N. HESEHUS in der Russ. Phys.-Chem. Ges. Versuche gezeigt, welche im *Rep. d. Ph. XXIII, 242 (1887)* beschrieben sind: Mehrere gleichlange Stäbchen aus verschiedenem Stoff wurden mit der Hand auf einen Tisch, besser noch auf einen Resonanzkasten aufgesetzt, und ihre oberen Enden nacheinander mit einer tönenden Stimmgabel berührt; die Stärke des Schalles gab einen Maassstab für das Schallleitungsvermögen. Zu den Versuchen dienten sechs Stäbchen aus Kautschuk, Kork, Guttapercha, Holz, Glas, Stahl, die zu je dreien mittelst Gummiröhrchen und Gummiringen vereinigt waren, um bequem zugleich in der Hand gehalten werden zu können; der schlaffe Kautschukstab war überdies zwischen zwei dünne Holzplättchen gelegt. Wurde die Stimmgabel an diesen gehalten, so war kein Schall zu hören, dagegen nahm die Schallstärke successive zu, wenn man der Reihe nach die andern Stäbchen berührte. Deutlich unterschieden war auch das Verhalten des Holzes parallel und senkrecht zu den Fasern; ein Tannenholzstäbchen der zweiten Art musste auf $^1/_5$ verkürzt werden, um dieselbe Schall-

stärke zu geben wie ein Stäbchen der ersten Art. — Die besten Schallleiter sind diejenigen Körper, in denen die Geschwindigkeit des Schalles am grössten ist (Aluminium, Stahl, Glas). Je grösser die durch die innere Reibung bedingte Eigenschaft der elastischen Nachwirkung in den Körpern ist, desto geringer ist die Schallleitung (Kautschuk, Blei). Weitere Versuche zeigen, dass die Schallleitung direkt proportional dem Querschnitt und umgekehrt proportional der Länge eines Körpers ist. Für die Demonstration der Schallleitung von Flüssigkeiten genügt es dem Verfasser zufolge nicht, ein Glas mit Wasser auf einen Resonanzkasten zu stellen und den Fuss einer Stimmgabel (der mit einem Ring von Holz oder Kork armiert ist) hineinzutauchen. Die wahrgenommene Schallverstärkung kann in diesem Fall von der Uebertragung auf die Oberfläche des Wassers herrühren. Einwand frei wird der Versuch, wenn man noch ein zweites Glas mit Wasser füllt und auf eine Gummiröhre stellt; man wird in diesem Falle keinen starken Schall mehr hören. Ähnliche Versuche mit andern Flüssigkeiten lassen erkennen, dass Quecksilber den Schall etwas besser leitet, als Wasser, Spiritus und Schwefeläther.

Ein Vorlesungsexperiment über Mischfarben ist von H. W. Vogel in den *Verh. der phys. Ges. zu Berlin, 1887, No. 5* angegeben worden, um zu zeigen, dass die Mischung von blau und gelb nicht immer grün giebt. Drei flache Fläschchen von rechteckigem Querschnitt werden, das eine mit Säuregelb-Lösung[1]), das zweite mit Lösung von Anilinblau, das dritte mit Kupferoxydammoniaklösung gefüllt. Legt man die erste Flasche auf eine der beiden mit blauem Inhalt versehenen und sieht hindurch, indem man sie gegen das Licht hält, so erhält man bei der Kupferoxydammoniaklösung einen schön grasgrünen, hinter der Anilinblaulösung dagegen einen rubinrothen Farbeneindruck. Der Versuch gelingt bei Lampenlicht noch besser als bei Tage; in letzterem Falle ist das Säuregelb etwas stärker zu nehmen.



Ein Apparat zur Darstellung von Chlorknallgas. Eine 18 mm weite und 17 cm lange Glasröhre *z* ist beiderseits durch Kautschukpfropfen verschlossen. Durch den unteren Propfen gehen zwei Kohlenelektroden, durch den oberen eine rechtwinklig umgebogene Kugelröhre von 14 cm Länge. Dieses Zersetzungsgefäss ist von einer 4,5 cm weiten Glasröhre umgeben, in welche durch das Rohr *r* Wasserdampf einströmt, um durch *u* auszutreten, während das kondensierte Wasser durch das mit Quetschhahn versehene Röhrchen *f* abfliessen kann. Die Röhre *z* wird zu zwei Dritteln mit einer Mischung aus gleichen Vol. Salzsäure und Wasser gefüllt, welche zuvor in der Hitze mit Kochsalz gesättigt, und der dann etwas überschüssige Salzsäure hinzugefügt wird, sodass sich eine geringe Menge festen Kochsalzes ausscheidet. Man leitet nun Wasserdampf in die weitere Glasröhre und lässt durch die beiden Elektroden den Strom von zwei Bunsen'schen Elementen eintreten. Die Gasentwickelung ist so lebhaft, dass schon nach Verlauf von drei Minuten eine an die Röhre *s* befestigte Glaskugel zur Explosion gebracht werden kann. (*Rosenfeld, Ber. d. chem. Gesellschaft. XX, 1154*). *Bgr.*

[1]) Zu beziehen von der Aktien-Gesellschaft für Anilinfarbenfabrikation in Berlin.



2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Die Pictet'sche Flüssigkeit. RAOUL PICTET hat in den *Arch. de Gen. (3) 13, S. 212—241 (1885)* Thatsachen veröffentlicht, welche sich auf die Siedetemperaturen und Dampfspannungen von Mischungen aus Kohlensäure und schwefliger Säure beziehen (vgl. auch *Beibl. XI, 629; 1887*). Diese Thatsachen sind von Wichtigkeit für das Verständnis der Erscheinungen, welche die neuerdings viel genannte Pictet'sche Eismaschine darbietet. Eine Mischung von $40\,CO_2 + SO_2$ hat die Siedetemperatur $-71°$, $10\,CO_2 + SO_2$ hat $-26°$, $CO_2 + SO_2$ hat $-19°$, $CO_2 + 7\,SO_2$ hat $-7{,}5°$. Besonders die Mischung $CO_2 + SO_2$ oder CO_4S, „Pictet'sche Flüssigkeit" genannt, hat sich als für Eismaschinenbetrieb passend erwiesen, da sie sich schon bei gewöhnlicher Temperatur leicht comprimieren lässt und doch eine Verdampfungstemperatur von $-19°$ erzeugt. Die Mischung wird zu diesem Zwecke bei einem durch einen Dampfmotor hervorgebrachten Drucke von 2 bis 4 Atm. und unter Mitwirkung eines Kühlwasserzuflusses von etwa 8° verflüssigt; aus den Condensatoren wird die Flüssigkeit in den Gefrierapparat (Refrigerator) geleitet, wo sie, durch Verdampfung stark abgekühlt, in Schlangenrohre eingeschlossen mit einer Chlormagnesium-Lösung in Berührung kommt, deren Temperatur dadurch auf $-7°$ bis $-19°$ herabgesetzt wird. In diese Lösung endlich werden Blechkästen gehängt, in denen das Wasser gefriert. Die Eisblöcke werden durch Abtauen mittelst Wasserdampfes aus den Kästen herausgelöst. — Die hierbei verwendete „Pictet'sche Flüssigkeit" nun zeigt eine auch in theoretischer Hinsicht merkwürdige Anomalie; ihre Dampfspannung nämlich ist bei sehr niederen Temperaturen nahe dieselbe, bei höheren Temperaturen aber eine viel geringere, als sie sein müsste, wenn die Dämpfe nur physikalisch gemischt wären; so ist bei $-30°$ die Spannung 0,77 Atm. gleich der theoretischen, bei $-20°$ ... 0,98 Atm. (statt 1,28), bei 0° ... 1,83 Atm. (statt 2,93), bei $+10°$ ... 2,55 Atm. (statt 4,21), bei $+50°$ ... 6,86 Atm. (statt 13). PICTET schliesst daraus, dass man es bei niederen Temperaturen mit einem Gemenge, bei höheren mit einer wirklichen chemischen Verbindung zu thun habe. Aus den angeführten Zahlen würde weiter folgen, dass zur Condensation einer gegebenen Menge dieser Verbindung, etwa bei 0°, eine geringere Arbeit erforderlich ist, als wenn jeder Bestandteil für sich condensiert würde. Andererseits wird die Verbindung bei der Verdampfung im Kühlgefässe nicht nur abgekühlt, sondern auch wieder in ein Gemenge aufgelöst werden, so dass die gesamte absorbierte Wärmemenge sich aus der Verflüssigungs- resp. Verdampfungswärme des Gemenges und aus der „physiko-chemischen" Verbindungswärme der beiden Stoffe zusammensetzt. Es würde daher im Refrigerator mehr Arbeit geleistet werden, oder auch, es könnte Wärme vom kälteren zum wärmeren Körper scheinbar mit geringerer Arbeitsleistung übergeführt werden, als der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie erfordert. Sowohl frühere Versuche von PICTET selber, als auch ein neuerdings von M. Corsepius erstatteter „Bericht über die Untersuchung einer mit der Flüssigkeit Pictet arbeitenden Eismaschine" *(Berlin, W. Büxenstein, 1887)* schienen diese Folgerung zu bestätigen. PICTET glaubte sogar, dass man mit Hülfe jener Flüssigkeit fortwährend die Wärme der Umgebung in Arbeit verwandeln könne, ohne dass gleichzeitig Wärme zum kälteren Körper überginge. Auch Corsepius kam auf Grund eines umfangreichen Beobachtungsmaterials zu dem Schlusse, dass die bei dem Process aufgewendete Arbeit geringer sei als diejenige, welche nach Carnot's Satz erforderlich sein müsste, und erklärte dies daraus, dass bei der Condensation der „Flüssigkeit Pictet" durch Molekularanziehung Wärme gebildet werde. H. v. Helmholtz endlich unterzieht in den *Verh. d. Phys. Ges. zu Berlin, 1887 No. 13* die Rechnungen von Corsepius einer Kritik, welche namentlich hervorhebt, dass die Temperaturen im Condensator sowohl als im Expansionsraum des Refrigerators nicht beobachtet, sondern aus dem beobachteten Gasdruck auf Grund der Pictet'schen Dampfspannungstabelle berechnet sind. Erstens aber sei nicht festgestellt, ob nicht Reste atmosphärischer Luft in den Röhren enthalten seien, deren Druck die Dampfspannung erhöhen und auch die Condensationstemperatur höher erscheinen lassen würde, als sie wirklich ist. Zweitens sei es nach Analogie anderer ähnlicher Gemische nicht wahrscheinlich, dass die Dämpfe



von Pictet's Flüssigkeit bei allen Temperaturen gleich zusammengesetzt seien, es sei zu erwarten, dass der Dampf in niederen Temperaturen mehr Kohlensäure, in höheren mehr schweflige Säure enthalte. Dieser Einfluss würde die Temperatur im Condensationsraum ebenfalls zu hoch, die im Refrigerator zu niedrig erscheinen lassen. Beide Umstände zusammen machen die Folgerungen von Pictet und Corsepius so lange unannehmbar, als nicht direkte Beobachtungen der Temperaturen und Untersuchungen über die Zusammensetzung der circulierenden Flüssigkeit vorliegen.

Das Germanium. Im Anfang des vorigen Jahres entdeckte Clemens Winkler in einem kurz zuvor bei Freiberg zum ersten Male gefundenen Erze, dem Argyrodit, ein neues chemisches Element, welches er Germanium nannte (Symbol *Ge*). Es wurde erhalten als ein grauweisser, metallisch glänzender, in regulären Oktaedern krystallisierender Stoff, welcher nur in concentrierter Schwefelsäure und Königswasser löslich ist, bei etwa 900° C. schmilzt und bei wenig höherer Temperatur verdampft. Bei 20,4° C. ergab sich das specifische Gewicht 5,469. Durch Analyse einer Chlorverbindung erhielt Winkler das Atomgewicht des als vierwertig angenommenen Elementes $Ge = 72,32$ (*Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1886 Bd. 19* und *J. für praktische Chemie* (*2*), *34*). Eine Bestätigung erhielt diese Atomgewichtsbestimmung durch Feststellung der Dampfdichte dieser Chlorverbindung (gefunden im Mittel gleich 7,44, berechnet gleich 7,40), sowie der entsprechenden Jodverbindung, so dass Winkler die Identität des Germaniums mit dem ‚Ekasilicium' folgern konnte, für welches Mendelejeff das Atomgewicht 72 und das specifische Gewicht 5,5 vorausgesagt hatte. Darnach wären das Silicium und insbesondere das Zinn die nächsten Verwandten des Germaniums, unter welcher Voraussetzung Lecoq de Boisbaudran nach seiner spectroskopischen Methode das mit Winkler's Untersuchungen gut übereinstimmende Atomgewicht $Ge = 72,27$ berechnete (*C. R. 102 und 103, 1886*). Die Atomwärme des Elementes bleibt auffallenderweise unter dem normalen Werte wesentlich zurück; sie schwankt von 0 — 440° C. zwischen den Grenzen 5,33 und 5,58, entsprechend den für die specifische Wärme gefundenen Zahlen 0,0737 und 0,0772. — Folgende Verbindungen des Germaniums sind bisher untersucht worden: $GeCl_2$ und $GeCl_4$, GeJ_4, GeO und GeO_2, GeS und GeS_2. Wichtig, weil für die qualitative und quantitative Analyse verwendbar, ist besonders das Sulfid GeS_2, ein weisser, in Ammoniak und Schwefelammon löslicher Stoff vom Charakter der Sulfosäuren. Demnach wäre die natürliche Verbindung des Germaniums, der Argyrodit $3Ag_2S.GeS_2$, ein Sulfosalz. In der jüngsten Zeit (vgl. das Tageblatt der letzten Naturforscherversammlung) hat Winkler auch die Fluoride und das Oxychlorid erhalten, ferner eine Aethylverbindung und das Chloroform des Germaniums, d. h. Verbindungen, welche den sogenannten organischen Verbindungen entsprechen. Damit ist die Stellung des Germaniums in der vierten Gruppe des periodischen Systems der Elemente endgültig bestimmt; seine Analogieen kommen in der Reihe *C*, *Si*, *Ge*, *Sn*, *Pb* zu vollständigem Ausdruck. *J. Sch.*

---

3. Unterricht und Methode.

Über Genauigkeit. Unter diesem Titel hat Professor W. Förster in einer *„Sammlung von Vorträgen und Abhandlungen“* (Zweite Folge, Berlin, G. Reimer) vor einiger Zeit einen kleinen Aufsatz veröffentlicht, den er selber als einen „Beitrag zur Pädagogik“ bezeichnet. Er tritt dafür ein, dass es darauf ankommt, grade die pädagogische Seite der naturwissenschaftlichen Methoden tiefer und bewusster in Erziehung und Schule zur Geltung zu bringen. „Es ist die in der Naturforschung vor aller Augen liegende, hohe kritische Durchbildung und erfolgreiche Bewährung der fruchtbarsten Processe des Urteilens und Schliessens, es ist die den Siegeszug dieser Forschung belebende und zusammenhaltende Genauigkeitsdisciplin — welche wie eine Sonne langsam über dem Horizont der Menschheit emporsteigt.“ Nach einer eingehenden Untersuchung über das Verhältnis der wissenschaftlichen Erziehung zur Charakterbildung wird die These aufgestellt und von



allen Seiten beleuchtet, dass die Pflege des Genauigkeitssinnes einen hervorragenden, ja unvergleichlichen Wert für die Erziehung besitzt. Wir gehen mit dem hochsinnigen Verfasser nicht so weit, in solcher „edlen Genauigkeit“ auch die sicherste Grundlage aller Treue, Gerechtigkeit und Liebe zu erblicken; diese Grundlage dürfte vielmehr anderswo als in einer wesentlich formalen Funktion des Verstandes zu suchen sein. Wohl aber erkennen wir in der naturwissenschaftlichen Schulung eine Anleitung zu jener gepriesensten Tugend des griechischen Altertums, der Besonnenheit, welche der Verfasser gerade in der Gegenwart so schmerzlich vermisst. Völlig dem Geiste unserer Zeitschrift entspricht die Forderung: „Die Darstellung der Naturwissenschaften in jeder Art von Unterricht soll sich viel stärker als bisher der Methode derselben und der vorsichtigen Abschätzung ihrer jeweiligen Ergebnisse, nicht bloss dem materiellen Inhalt dieser Ergebnisse zuwenden.“ Von solchen Kapiteln, in denen die wissenschaftliche Untersuchung noch nicht abgeschlossen ist, sagt der Verfasser, dass sie „wahre Fundgruben der förderlichsten und anziehendsten Darlegungen über das Wesen und die Geschichte naturwissenschaftlicher Erkenntniss, über die Irrungen und Schwierigkeiten derselben (Wahrnehmungs- und Urteilstäuschungen), sowie über die Schätzung des Wahrscheinlichkeits-Wertes der Ergebnisse, kurzum über alle diejenigen Fragen des Erkenntniss-Processes werden können, deren Erörterung gerade für das jugendliche Alter eine so entscheidend erziehliche Bedeutung gewinnen wird.“ Wir wissen dem Verfasser aufrichtig Dank für die Bekräftigung, welche unsere Bestrebungen durch sein gewichtiges, aus der Fülle allgemeinster geistiger Beziehungen herausgewachsenes Urteil erfahren.

Der chemische Unterricht vor der British Association. PATTISON MUIR, Professor in Cambridge, hat in der chemischen Sektion der diesjährigen Naturforscherversammlung zu Manchester einen Vortrag gehalten, in welchem er die folgenden vier Forderungen aufstellt; Der Lernende soll wirkliche Kenntnisse erwerben; die Thatsachen und Theorieen, welche gelehrt werden, müssen sorgfältig ausgesucht sein; die Wichtigkeit und der Wert der Chemie als eines Zweiges der Naturwissenschaften muss zum Bewusstsein gebracht werden; keinerlei Rücksicht darf auf eine Prüfung genommen werden. — Für verhängnisvoll erklärt er die vielfache Trennung in Chemie und chemische Theorie, die Wissenschaft sei eine, Vorlesung und Arbeit im Laboratorium müssen Hand in Hand gehen. Der Gang der praktischen Arbeiten und der theoretischen Unterweisung ist folgender: Physikalische und chemische Veränderung der Stoffe, Element und zusammengesetzter Körper, Gemenge und Verbindung: Basis, Säure, Salz; Ersatz des Wasserstoffs in Säuren durch Metalle; Eisengruppe; Bedingungen chemischer Wirkung, Affinität; chemische Erscheinungen des täglichen Lebens, die sich nicht in Formeln ausdrücken lassen; Äquivalenz; praktische Bestimmung der specifischen Volumina von Kohlenstoffverbindungen, Herstellung von Äthern verschiedener Alkohole; Molekular- und Atomgewicht; Natürliches System der Elemente. — „Der Unterricht liegt noch zu sehr in den Fesseln der Scholastik. Wir dürfen Naturwissenschaft nicht wie Grammatik lehren, sonst bürden wir unsern Schülern eine schwerere Last auf, als wir selbst in unserer Jugend tragen mussten.“ „Von der Grossartigkeit einer Wissenschaft giebt nichts ein klareres Bild, als wenn bei jedem Problem auf seine Vielseitigkeit hingewiesen wird.“ „Der Lehrer muss ernstlich ans Werk gehen, er muss mit allen Regeln brechen, die Formeln verschlucken, an die Natur herantreten und seine Schüler mitnehmen; dann wird sein Erfolg ihn belohnen.“ „Bevor der Student eigene Forschungen vornimmt, mache er eine mustergültige Untersuchung nach“. — Der Redner hat allerdings als Schüler in erster Linie den zukünftigen Chemiker oder doch Naturforscher im Auge, aber seine Ausführungen behalten im wesentlichen ihre Gültigkeit auch für den chemischen Unterricht auf unseren Schulen. (*Nature*, **36**, *536; 1887*). *T.*



4. Geschichte.

Zur Geschichte der Alchemie. Die Geschichte der Naturwissenschaften, gleichmässig wichtig für den Forscher, den Kulturhistoriker und den Philosophen, beansprucht nicht minder das Interesse des Pädagogen, da in vielen Fällen das allmähliche Werden eines Begriffes am besten zeigt, wie dieser dem jugendlichen Geiste zum Verständnis zu bringen ist. Darum sind gute Veröffentlichungen auf diesem Gebiete auch für den Lehrer der Naturwissenschaften von Wert, insbesondere wenn sie sich auf ein so schwieriges Kapitel wie die Anfänge der Chemie beziehen. — Bekanntlich war die alte Chemie, gewöhnlich Alchemie oder Alchymie genannt, in erster Linie die Lehre von der künstlichen Erzeugung des Goldes und Silbers, aber sie war nicht nur Illusion, sondern gleichzeitig Zusammenfassung zahlreicher Erfahrungsthatsachen. Dieses teils eingebildete, teils wirkliche Wissen — welches letztere sich auf Metallurgie, Darstellung von Gläsern und künstlichen Edelsteinen, Färberei und Ähnliches bezog — lässt sich in schriftlich fixierter Form bis in das 3. oder 4. Jahrhundert unserer Zeitrechnung zurückverfolgen. Dass indessen schon viel früher, namentlich in Ägypten, derartige Kenntnisse gepflegt wurden, dafür sprechen u. a. die Überreste der ältesten Laboratorien, welche (aller Wahrscheinlichkeit nach) in den Trümmern der Serapistempel erhalten sind. Wertvolle Untersuchungen über die vielfach zerstreuten ältesten Dokumente der Alchemie hat vor fast zwanzig Jahren Hermann Kopp veröffentlicht. In neuerer Zeit hat M. Berthelot diese Studien wieder aufgenommen und deren Ergebnis in einem grösseren Werke *„Les origines de l'alchimie, Paris 1885“* niedergelegt. Nach einer Besprechung der ältesten, insbesondere ägyptischen Quellen analysiert der Verfasser die hierher gehörigen griechischen Manuskripte, welche ihm zum Teil vorgelegen haben und seit dem 5. Jahrhundert n. Chr. in ununterbrochener Folge erschienen sind; anhangsweise sind auch einige dieser Texte abgedruckt. Interessant ist ferner das letzte Buch des Werkes, welches die alchemistischen und die modernen chemischen Theorieen vergleicht, die Analogieen zwischen beiden aufdeckt und für eine richtige, der landläufigen Ansicht widersprechende Schätzung des wissenschaftlichen Wertes der Alchemie von Wichtigkeit ist. — Während die *„origines de l'alchimie“* insbesondere für den Chemiker und für den Philosophen bestimmt sind, wendet sich ein etwas später erschienenes Werk von Hermann Kopp *„Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit, Heidelberg 1886“* an alle sich für die Entwicklung der Kultur Interessierenden, bringt aber auch gleichzeitig dem Fachmann viel des Neuen und Wissenswerten. Der erste Teil, welcher die Alchemie bis zum letzten Viertel des 18. Jahrhunderts behandelt, schildert ihre Entstehung und Entwicklung, den Glauben an dieselbe und ihre Pflege in der Hütte wie im Fürstenschlosse, schliesslich ihre Bestreitung (obgleich noch Baco von Verulam, Spinoza und Leibniz an die künstliche Darstellung des Goldes glauben) und ihren Verfall seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts. Aber es wäre ein Irrtum zu meinen, dass die Alchemie seit jener Zeit völlig todt ist. Wie diese — meist in geheimen Gesellschaften und wahrscheinlich bis zum heutigen Tage — weitergeführt wurde, und dass noch um 1780 und später Männer wie der Weltumsegler Georg Forster um den Stein der Weisen sich bemühten, weist Kopp in dem 2. Teile des Werkes nach, dessen Wert durch einen umfangreichen Anhang über die Bibliographie der Alchemie erhöht wird. *J. Sch.*

Das elektrische Leuchten im luftverdünnten Raum (vgl. Heft I S. 28) ist zuerst um 1675 von Jean Picard an einzelnen Barometern beobachtet worden. Hawksbee erklärte die Erscheinung durch die Reibung des Quecksilbers am Glase und beschrieb in den Jahren 1705/9 ähnliche Beobachtungen an hohlen Glaskugeln, welche luftleer gepumpt und durch Reiben mit der Hand elektrisch gemacht wurden. Den im vorigen Heft angegebenen Versuch mit einer umgebogenen Barometerröhre hat schon William Watson (*Phil. trans. 1751)* angestellt. Dieser nahm anfänglich eine Glasröhre von 3′ Länge und 3″

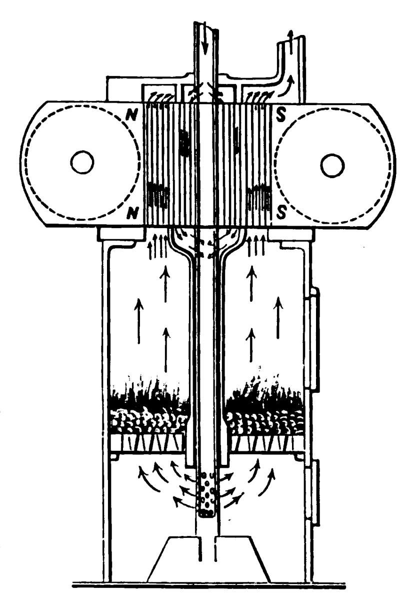


Durchmesser, die durch zwei Metallfassungen geschlossen und im Innern mit einer verschiebbaren Metallplatte versehen war, so dass die Entfernung der Elektroden beliebig verändert werden konnte. Nach dem Auspumpen der Luft wurde das eine Ende der Röhre mit der Elektrisiermaschine, das andere mit der Erde verbunden, oder auch die Röhre in den Entladungskreis einer Leydener Flasche geschaltet. Watson wiederholte den Versuch danach mit einem „Cavendish'schen Doppelbarometer" und verband die eine Quecksilbersäule mit der Elektrisiermaschine, die andere mit der Erde, am besten so, dass er successive Entladungen erzeugen konnte. Morgan endlich beobachtete (1785), dass das Vacuum eines möglichst vollkommenen Barometers der elektrischen Entladung keinen Durchgang mehr gestattet und sich also wie ein Nichtleiter verhält. (Vergl. *Mascart-Wallentin, Handb. d. stat. Elektr. II, 1, S. 115*).

---

5. *Technik und mechanische Praxis.*

Edison's pyromagnetischer Motor und Stromerzeuger. Die Wirksamkeit des neuen Apparates beruht auf der Thatsache, dass die Magnetisierungsfähigkeit des Eisens mit wachsender Temperatur rasch bis nahe an Null abnimmt. Der wesentliche Teil des Motors ist ein aus dünnwandigen Eisenröhren gebildeter Körper, der um eine vertikale Achse zwischen den Polen eines horizontal liegenden Magnetes drehbar ist. Die Röhren können durch heisse (aufsteigende) Luftströme bis zur Rotglut erhitzt und durch (absteigende) kalte Luftströme wieder abgekühlt werden. Dies geschieht durch einen (in der Fig. nicht sichtbaren) Schirm, der fortwährend den warmen Luftstrom von der einen Hälfte des Röhrensystems abhält. Wenn der Schirm nicht gerade symmetrisch zu den Magnetpolen liegt, so beginnt der Anker alsbald zu rotieren, da die kühleren Eisenmassen stärker von dem zunächst gelegenen Magnetpol angezogen werden, als die wärmeren von dem entgegengesetzten Pol. — Der auf demselben Prinzip beruhende Stromerzeuger besteht aus vier radial angeordneten Elektromagnetpaaren, zwischen denen acht Rollen aus gewelltem Eisendraht rotieren, die von Solenoidwindungen umgeben sind. Leitet man wieder den heissen Luftstrom einseitig durch die Rollen, und verbindet die Solenoide von je zwei gegenüber stehenden, ungleich erwärmten durch eine Commutatorvorrichtung, so kann man die entstehenden Induktionsströme vereinigen. Der Apparat ist indessen vorläufig, wenn er leistungsfähig sein soll, noch zu schwer für praktische Verwertung. *Elektrot. Ztschr. VIII, 385 (1887).*



Absprengen von Glas. In der *Zeitschr. für Analyt. Chemie* (XXV, 530) teilt E. Beckmann eine sichere Methode zum Absprengen von Glasröhren mit. Man macht an einer Stelle der Sprengzone einen kurzen Feilstrich, umgiebt die Röhre zu beiden Seiten der Sprengstelle mit Wulsten von feuchtem Filtrierpapier und erhitzt den 1—2 mm breiten Zwischenraum zwischen diesen über dem Bunsenbrenner oder besser der Stichflamme eines Gasgebläses, während man die Röhre um ihre Achse dreht. Dabei entsteht ein glatter Sprungring, der genau den Raum zwischen den Papierwulsten einhält. Die Wulste werden 1—2 mm dick und 2—4 cm breit gemacht; man stellt sie her, indem man ein Stück Filtrierpapier von passender Grösse der Länge nach einmal zusammenfaltet, mit Wasser tränkt, glättet und so um die Röhre legt, dass der Falz dem Feilstrich zugewendet ist und Falz auf Falz zu liegen kommt. Dies Verfahren lässt sich mit gleicher Sicherheit auf Reagenzgläser und Verbrennungsröhren, auf Bechergläser, Flaschen und Glasglocken, auf Trichter und Retortenhälse anwenden.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Kurzes Lehrbuch der anorganischen Chemie, gegründet auf die Thermochemie mit Benutzung der thermochemischen Daten. Von Alfred Ditte, Prof. der Chemie an der faculté des sciences zu Caen. Autorisierte deutsche Ausgabe von Dr. H. Böttger. Berlin, Julius Springer, 1886, 318 S.

Das Buch stützt sich auf die thermochemischen Untersuchungen, insbesondere auf den „Grundsatz der grössten Arbeit". Dieser Grundsatz hat zwar keineswegs die Geltung eines Axioms, ist aber zur Erklärung und Vorherbestimmung einer grossen Anzahl chemischer Umsetzungen brauchbar. Der Versuch, neben der atomistischen die thermochemische Theorie einem Lehrbuche zu Grunde zu legen, ist deshalb berechtigt und dessen Ausführung wohl gelungen. Die chemischen Thatsachen sind geschickt und mit Berücksichtigung der neuen Forschungen ausgewählt; nur ist die Reihenfolge bei Anordnung der Elemente — *H, O, S, N, P, As, Sb, Cl* u. s. f. — wenig systematisch. Zum Gebrauch an Schulen ist das Werk nicht geeignet, wohl aber zur bequemen Einführung in die Lehren der Thermochemie. Dass der Verfasser seinem Landsmann Berthelot alles Verdienst der thermochemischen Theorie zuschreibt, ist durchaus ungerechtfertigt; der Name Thomsen's ist jedoch wenigstens in dem Vorwort zur deutschen Ausgabe genannt. Dem Herausgeber gebührt Dank, dass er durch die Übersetzung und durch Abänderung der chemischen Zeichensprache den deutschen Fachgenossen ein Lehrbuch näher gebracht hat, welches überall, und vielfach in origineller Weise, zu zeigen bemüht ist, „wie die einzelnen Thatsachen von allgemeinen Gesetzen abhängig sind". *J. Sch.*

Anleitung zum Glasblasen für Physiker und Chemiker. Nach dem Englischen von W. A. Shenstone, bearbeitet von Dr. H. Ebert. Mit 44 in den Text eingedruckten Figuren. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1887. 86 S. M. 2,00.

Dass eine Kunst nicht aus praktischer Unterweisung, sondern nach einem gedruckten Leitfaden zu erlernen sei, kann für höchst unwahrscheinlich gehalten werden. Schon ein Blick in dies kleine Buch aber zeigt, dass es möglich ist. Die Beschreibungen sind so genau und so deutlich, dass man in vielen Fällen glaubt, den Glasbläser selbst hantieren zu sehen. Die Abschnitte des Buches behandeln der Reihe nach die Ausrüstung des Glasbläsers, die gebräuchlichsten Glassorten und ihre Behandlung, die Grundoperationen, die Zusammensetzung von complicierteren Apparaten, das Graduieren und Calibrieren. Lehrer der Physik und Chemie werden in dem Buche für alle im Unterricht vorkommenden Bedürfnisse ausreichende Anweisung finden. *P.*

Anleitung zum experimentellen Studium der Physik. I. Teil: Galvanische Elektricität (2. verm. und verb. Auflage). 42 S. II. Teil: Influenz-Elektricität. 30 S. Herausgegeben von Meiser und Mertig, Inhabern physikalischer Werkstätten. Dresden, 1886 und 1887, im Selbstverlage.

Die Schriftchen enthalten Anweisungen zum Gebrauch der Apparatsammlungen, welche, namentlich zur Benutzung durch Schüler, von den Herausgebern angefertigt werden. Abgesehen von den zu subjektiv gefärbten und zu allgemein gehaltenen Einleitungen sind die Gebrauchsvorschriften und die experimentellen Übungsaufgaben (120 in I, ebensoviele in II), geschickt und sachkundig zusammengestellt und wohl geeignet, Schüler, welche bereits einen methodischen Unterricht genossen haben, zum Nachdenken und zu nützlicher Beschäftigung anzuregen. *P.*

Die Lehre von der Energie historisch kritisch entwickelt. Nebst Beiträgen zu einer allgemeinen Energetik. Von Dr. Georg Helm, Oberlehrer an der Annenschule zu Dresden. Leipzig, Arthur Felix. 1887. 104 S.

Grundbegriffe der Meteorologie, für höhere Schulen zusammengestellt von Dr. E. Wilk. Mit 5 Karten und 7 in den Text gedruckten Figuren. Iserlohn und Leipzig, J. Baedecker, 1887. 47 S. M. 1,00.



Versammlungen und Vereine.

Britische Naturforscher-Versammlung zu Manchester, 1887. Rede von H. E. Roscoe.

Die Rede giebt einen Überblick über die Entwicklung der Chemie in den letzten 50 Jahren. Die Entwicklung der Chemie bis zum Jahre 1837 wird durch die Namen Priestley, Lavoisier, Davy, Gay-Lussac und Faraday gekennzeichnet. Die organische Chemie lag im Bann des Zauberwortes Lebenskraft, dem sich selbst ein Liebig nicht völlig entziehen konnte; aber ein gewaltiger Schritt war gethan durch die Annahme der Dalton'schen Atomtheorie, deren Schwerpunkt nicht sowohl in der Annahme der Existenz und Unteilbarkeit der Atome als in der Thatsache ihres verschiedenen Gewichtes liegt. Diese Entdeckung zusammen mit dem Gesetz der multiplen Proportionen machten die Chemie erst zu einer quantitativen Wissenschaft. Welches Licht haben nun die folgenden 50 Jahre auf die Dalton'schen Atome geworfen in Bezug auf ihre Gestalt, Unteilbarkeit und Bewegung?

Erst im Jahre 1865 berechnete Loschmidt in Wien den Durchmesser eines Sauerstoffatoms auf ein Millionstel eines Millimeters, und einige Jahre später William Thomson die Entfernung zweier benachbarter Moleküle. Von der Annahme der Unteilbarkeit der Atome ging Thomas Thomson ab, indem er die Prout'sche Hypothese annahm, dass die Atome der Elemente Vielfache des Wasserstoffatoms seien. Graham definierte demgemäss das Elementatom als „noch nicht zerlegt“, und die Anzahl dieser Stoffe wuchs von 53 auf 70, die 20 neu von Krüss und Nilson angemeldeten nicht gerechnet. Genauere Atomgewichtsbestimmungen von Dumas, Stass und Marignac stürzten die Prout'sche Hypothese; die nahezu ganzen Zahlen bleiben aber doch bemerkenswert. Schon Döbereiner hatte 1829 eine Familie unter den Elementen entdeckt, Dumas stellte eine grosse Zahl von solchen auf. Wenn aber England die Ehre des ersten Schrittes hat, der Ausbau der Theorie ist Deutschland und Russland zu verdanken. Deutschland, in der Person von Lothar Meyer, hält sich streng innerhalb der Grenzen der wohlbekannten Thatsachen. Russland, vertreten durch Mendelejeff, mit lebhafterer Phantasie begabt, versucht sich in Prophezeiungen, gruppiert alle Elemente nach ihrem Atomgewicht und stellt alle physikalischen und chemischen Eigenschaften als periodische Funktionen derselben dar. Eine starke Stütze hat diese Hypothese gefunden in den durch sie vorausgesagten Entdeckungen des Gallium (Lecoq), Scandium (Nilson) und Germanium (Winkler). Die Zersetzung der Moleküle durch hohe Hitze hat Victor Meyer, durch elektrische Entladung J. J. Thomson bewirkt. Die Zerlegbarkeit der Atome hat aber selbst durch die von Bunsen und Kirchhoff erfundene Spectralanalyse auf der Erde nicht nachgewiesen werden können, und die von Lockyer, Huggins und Young an Himmelskörpern gewonnenen Resultate zwingen ebensowenig zu dieser Annahme, wie die Untersuchungen Crooke's über Phosphorescenz.

Die Bewegung der Gasatome war bereits Dalton bekannt, und Graham stellte das Gesetz der Geschwindigkeit der Diffusion auf, aber erst Joule fand im Jahre 1848 bestimmte Zahlen für die Geschwindigkeit der Moleküle und Maxwell berechnete später die Anzahl der Zusammenstösse. Der grösste Schritt aber war die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents durch Joule im Jahre 1843. Noch sind wir aber weit entfernt von einer mathematischen Dynamik der Atome, und die Thermochemie ist trotz der Erfolge des dänischen Forschers Thomsen noch im Anfangsstadium. Weiter haben auf anderem Wege Faraday's und Kohlrausch's Versuche geführt, die einen engeren Zusammenhang zwischen elektrischer Leitungsfähigkeit und chemischer Activität nachgewiesen haben.

Die wichtigste Rolle haben die Atome aber in der organischen Chemie gespielt. Die Entdeckung der Isomerie durch Dalton und ihre Bestätigung durch Faraday, Liebig und Wöhler, die Wertigkeitstheorie, angedeutet von Faraday und Frankland, ausgesprochen durch Kekulé im Jahre 1852, haben den Chemiker zu Vorstellungen über die Lage der Atome im Molekül befähigt, und diese sind auf dem Raum von drei Dimensionen durch Van t'Hoff und Wislicenus ausgedehnt worden. Die Kenntnis der Atomgruppierung hat auch zu jenen ausserordentlichen Erfolgen der Synthese organischer Körper geführt, die noch von Gmelin und Berzelius für unmöglich gehalten wurde, eine Schranke, die durch Wöhler erschüttert und 17 Jahre später durch Kolbe niedergerissen wurde. Ordnung brachte in die organische Chemie zuerst Liebig durch die Theorie der Radicale, Dumas durch die der Substitutionen, die zu den klassischen Untersuchungen Williamson's, Wurtz' und Hofmann's führte. An die Analyse des Coniins durch Hofmann schliessen sich die synthetischen Arbeiten von Graebe, Liebermann, Schunk, Baeyer, die Darstellung der Theerfarbstoffe und des Saccharins. Schon sagt man die physiologische Wirkung der Körper voraus und konstruiert Fieberheilmittel; dass auch andere physikalische Eigenschaften von der Constitution abhängen, hat zuerst Pasteur 1848 er-

kannt, und Gladstone's optische Untersuchungen haben zur Saccharimetrie geführt. Bis zur Darstellung der Protoplasma ist allerdings nur die Phantasie gedrungen.

Noch sind wir weit entfernt davon, auch nur den Lebensprocess vollständig zu durchschauen. Liebig's Unterscheidung der Lebensmittel in Wärmeerzeuger und Krafterzeuger wurde von Robert Mayer mit Erfolg bekämpft. Die potentielle Energie der Gesammtnahrung liefert die actuelle Energie des Körpers ausgedrückt in Hitze oder mechanischer Arbeit. Welches ist aber das mechanische Äquivalent der Gedankenarbeit? Helmholtz vermutet hier eine Ausnahme vom zweiten thermo-dynamischen Gesetz und eine vollkommene Verwandlung von Wärme in Arbeit,

Die Humustheorie, von Saussure erschüttert, wurde durch Liebig gestürzt: die gesamte Kohlenstoffmenge der Pflanzen stammt aus der Luft, wie Lawes und Gilbert nachgewiesen. Anders steht es mit dem Stickstoff: Warington und Berthelot haben die Entstehung von Stickstoffverbindungen im Boden durch Absorption der Luft gezeigt.

Gährung und Fäulnis, die Liebig für rein chemische Processe hielt, sind an die Existenz kleiner Organismen geknüpft, wie Pasteur nachgewiesen. So ist die Bacteriologie entstanden, welche in Lister's Hand so glänzende Resultate für die Wundbehandlung lieferte und durch Klebs, Koch, William Roberts zur Entdeckung der Ursachen mannigfaltiger Krankheiten von Mensch und Tier geführt hat. Nachgewiesen ist aber ferner, dass nicht die Organismen, sondern die durch sie erzeugten chemischen Stoffe das Gift für den Körper sind, so dass hier wieder der Chemiker einzusetzen hat.

Am Schlusse des Vortrages bemerkt Roscoe, dass dieser glänzenden Entwicklung der Chemie eine durchaus nicht entsprechende Berücksichtigung im Unterricht gegenübersteht. *A. T.*

60. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wiesbaden (18.—24. September 1887).

Die diesjährige Versammlung hat dadurch ein besonderes Gepräge erhalten, dass in den allgemeinen Sitzungen von mehreren Seiten die Unterrichtsfrage in den Vordergrund gerückt wurde. W. Preyer (Jena) hob in einem Vortrage über „Naturforschung und Schule“ als Mängel des heutigen Unterrichtsbetriebes u. A. hervor, dass statt des Anschaulichen vorwiegend Abstraktes eingeprägt werde, dass die Schüler ihre Sinne nicht richtig gebrauchen lernen und dass sie keine Übung in der gründlichen Behandlung wissenschaftlicher Aufgaben erlangen. Dem Unterricht im Deutschen räumt er mit Recht die vornehmste Stelle ein. Hinsichtlich des Physik-Unterrichts stimmt er mit dem Programme dieser Ztschr. völlig überein: „Die Physik ist darum die Führerin der Naturwissenschaften geworden, weil sie jeden Satz beweist, den sie aufstellt. Der Unterricht zeigt, wie das geschieht, wie die Entdecker und Erfinder zu den neuen Thatsachen und Gesetzen kamen, und sollte mit dem Einfachsten anfangend, Schritt für Schritt aufsteigend, die Schüler etwas von der Entdeckerfreude nachfühlen lassen.“ Zur Erziehung der Sinne fordert er, dass Farben und Helligkeiten, Töne von ungleicher Stärke und Höhe, auch Geräusche den Schülern ebenso methodisch zur Vergleichung dargeboten werden, wie ungleiche Temperaturen, Gewichte, Tasteindrücke. — Auch Detmer (Jena) kam am Schlusse eines Vortrages über „Pflanzenleben und Pflanzenatmung“ auf den Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu sprechen und betonte, dass nicht einseitig das Gewicht auf das empirische Material gelegt werden dürfe, sondern dass vor allem das Verständnis für den Zusammenhang der Naturerscheinungen geweckt werden müsse. Endlich berührte W. Löwenthal (Lausanne) in dem Vortrage „die Aufgaben der Medizin in der Schule“ die Ursachen der Überbürdung und verlangte, dass eine gesunde Pädagogik auf naturwissenschaftlich-methodisches Beobachten und Denken zu stützen sei. — Von den übrigen allgemeinen Vorträgen hat für uns namentlich der von Wislicenus Interesse, über welchen in dieser Zeitschr. ausführlicher berichtet werden wird.

In der physikalischen Sektion wurden von L. Pfaundler (Innsbruck) eine Wellenmaschine und ein Apparat für die Fundamentalversuche über Magnetinduktion demonstriert (vgl. d. Heft S. 53); von demselben wurde eine kleine dynamo-elektrische Maschine gezeigt, welche ihre eigenen Kraftlinien mittelst aufgestreuten Eisenpulvers sichtbar macht. Ferner kam ein Toepler'scher Universalapparat zur Demonstration von Gleichgewichts- und Bewegungs-Erscheinungen (durch O. Leuner, Dresden), eine Paalzow'sche optische Bank (durch H. Haensch, Berlin) und andere Demonstrationsapparate (durch E. Seybold's Nachf., Cöln) zur Vorführung. — R. Pictet (Genf) sprach über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, im Anschlusse an die von ihm angegebenen Kältemaschinen (vgl. d. H. S. 77). Ebert (Erlangen) teilte Untersuchungen über die Fizeau'schen Interferenzcurven mit, denen zufolge sich die Unabhängigkeit der Wellenlänge des Lichtes von der Amplitude fast bis auf $^1/_{1000000}$ ihres Betrages verbürgen lässt. Hagenbach (Basel) besprach die physikalischen Eigenschaften des Gletschereises und führte dabei an, dass er, gemeinsam mit A. Forel, die Temperatur in Bohrlöchern der Gletscherhöhle bei Arolla (Wallis) stets ein wenig



unter 0°, höchstens aber — 0,03° C gefunden habe. Weitere Gegenstände der Sektionssitzungen waren: der Einfluss von Temperatur und chemischer Constitution auf die Zähigkeit homogener Flüssigkeiten (L. Graetz); die Grösse der Stossflächen elastischer Kugeln (A. Hamburger); die anomale Dispersion des glühenden K- und Na-Dampfes (Winkelmann); das Refraktionsvermögen der Flüssigkeiten zwischen sehr entfernten Temperaturgrenzen (Ketteler); die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents (Dieterici); die Messung hoher Potentiale (A. Voller); die Dielektricitätsconstanten leitender Flüssigkeiten (Cohn); das Telephonieren unter Wasser mit Hülfe des Mikrophons (Holthof).

In der chemischen Sektion waren von allgemeinerem Interesse diejenigen Verhandlungen, welche in Beziehung zu der Theorie der räumlichen Anordnung der Atome standen. R. Anschütz (Bonn) wandte sich gegen die »geometrischen« Formeln für Fumarsäure und Maleïnsäure und hielt die von ihm angegebenen Formeln aufrecht. J. Wislicenus (Leipzig) andererseits hatte die einzige Thatsache, welche der von ihm vertretenen Theorie widersprach, einer näheren Prüfung unterzogen. Wenn Acetylendicarbonsäure mit etwas Wasser und mit Brom zusammenkommt, so bildet sich Dibromfumarsäure, während nach des Vortragenden Theorie Dibrommaleïnsäure entstehen müsste. Durch Wiederholung des Versuches mit stark verdünnten Lösungen gelang es ihm in der That, diese letztgenannte zu erhalten. — Von den übrigen Gegenständen seien nur erwähnt der Bericht von Clemens Winkler (Leipzig) über das Germanium und ein Vortrag von B. Kosmann (Breslau) über den Wassergehalt der Mineralien und anorganischen Salze. Ihm zufolge ist, mit Rücksicht auf die thermochemischen Daten, eine Unterscheidung von Hydratwasser und chemisch gebundenem Wasser hinfällig, mit der Hydratisation geht eine molekulare Umsetzung vor sich.

In der Sektion für naturwissenschaftlichen Unterricht sprach Schwalbe (Berlin) »über die Gesundheitslehre als Unterrichtsgegenstand«, setzte die Notwendigkeit eines solchen Unterrichts, sei es in encyclopädischer oder in fakultativer Form, auseinander und forderte: Herstellung eines kurzen hygienischen Lehrbuches für Schüler, bessere Ausbildung der Lehrer in der Gesundheitslehre, unentgeltliche Vorträge von Aerzten oder Lehrern an den Schulen. In der Diskussion wurde von mehreren Seiten Anschluss des hygienischen Unterrichts an die übrigen naturwissenschaftlichen Fächer empfohlen. — In einem zweiten Vortrage »Was kann und könnte der naturwissenschaftliche Unterricht leisten« legte derselbe dar, dass erst nach Aenderung der äusseren Bedingungen die Naturwissenschaften ihre bildende Kraft würden voll bewähren können. — Fischer empfahl für den naturbeschreibenden Unterricht die Gruppierung des Stoffes nach »Lebensgemeinschaften«. Die letzte (dritte) Sektionssitzung war ausschliesslich der Diskussion der in den vorhergehenden Vorträgen angeregten Fragen gewidmet. Die Sitzungen dieser Sektion waren von 46 Mitgliedern besucht.

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 14. October 1887. Herr F. Kötter sprach über eine Verallgemeinerung des hydrodynamischen Theorems, welches Lejeune-Dirichlet bezüglich der Bewegung einer Kugel in einer incompressiblen, reibungslosen Flüssigkeit aufgestellt hat. Dies Theorem lässt sich, am einfachsten auf Grund der hydrodynamischen Untersuchungen Kirchhoff's, für nicht homogene Kugeln dahin verallgemeinern, dass zwischen Mittelpunkt und Schwerpunkt ein Punkt bestimmbar ist, der eine geradlinige Bahn mit constanter Geschwindigkeit durchläuft und um den der kugelförmige Körper in gewisser Weise rotiert. — Herr H. v. Helmholtz unterzog darauf den Bericht von M. Corsepius über die Untersuchung einer mit der Flüssigkeit Pictet arbeitenden Eismaschine einer eingehenden Kritik (vgl. d. Heft S. 77).

Sitzung am 28. October 1887. Herr H. v. Helmholtz eröffnete die Sitzung mit Worten der Erinnerung an Gustav Kirchhoff. Herr R. v. Helmholtz führte die Versuche mit einem Dampfstrahl vor, welche kürzlich von ihm veröffentlicht worden sind. (Wied Ann. 32, S. 1, 1887). Aeltere Versuche von Pouillet, neuere von Nahrwold und Aitken haben die Abhängigkeit der Nebelbildung vom Staubgehalt der Luft dargethan. Die vorgeführten Versuche zeigen, dass daneben noch eine andere Ursache der Nebelbildung vorhanden ist, welche der Vortragende in molekularen Erschütterungen, wie sie durch Lichtschwingungen oder durch chemische Processe hervorgerufen werden, zu erkennen glaubt. — Herr Dieterici setzte eine Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents, auf Grund des Joule'schen Gesetzes und unter Anwendung von Bunsen's Eiscalorimeter, auseinander. Die Messungen ergaben in absolutem Maass 422,4 bez. 422,2 kgm, wobei die mittlere specifische Wärme des Wassers zwischen 0° und 100° zu Grunde gelegt wurde. — Es wurde bei diesem Anlass auch der eigentümliche Umstand erörtert, dass der Begriff der Wärme-Einheit zwar theoretisch exakt definiert, die Grösse aber thatsächlich bisher nicht genau angebbar sei.



Sitzung am 13. November 1887. Herr Weinstein über die Berechnung des Widerstandes von Quecksilberröhren. Die Schwierigkeiten der Berücksichtigung und genauen Bestimmung des Querschnittes der Röhren werden erörtert, zur Ermittlung der Röhrenweite als besonders geeignet die Beobachtung der capillaren Steighöhe von möglichst vollkommen benetzenden Flüssigkeiten empfohlen. — Herr R. Pictet (als Gast) setzte Einrichtung und Wirkungsweise seiner Eismaschine auseinander. Herr H. v. Helmholtz hielt seine früheren Einwendungen aufrecht.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 17. October 1887. Herr Schwalbe (Ehrenmitglied) machte Mitteilungen über die Wiesbadener Naturforscherversammlung und berichtete namentlich über das Germanium, das Sacharin, das Jenenser Glas und die Pictet'sche Eismaschine.

Sitzung am 31. October 1887. Herr Thurein (Gast) über die elementare Darstellung der Planetenbahnen. Auf zwei Tafeln sind die Planetenbahnen durch zur Sonne excentrische Kreise dargestellt; man kann den Ort eines Planeten zu irgend einer Zeit zunächst auf den Tafeln bestimmen und daraus den Ort am Himmel durch einfache Construction oder elementare Rechnung finden. Herr Thaer berichtete über neuere für den Unterricht brauchbare Veröffentlichungen.

Sitzung am 14. November 1887. Herr A. Voss sprach über die Behandlung der Grundbegriffe der Mechanik und gab Ableitungen für die Formeln des physischen Pendels und des Torricelli'schen Theorems. Derselbe setzte darauf einige optische Probleme auseinander.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Das Bolometer nach Dr. C. Baur,

modifiziert von Ferdinand Ernecke in Berlin.

Das Bolometer (Strahlenmesser) beruht auf dem Prinzip der Wheatstone'schen Brücke. Wird der Widerstand eines der Zweige durch Erwärmung vergrössert, so zeigt das vorher stromlose Galvanometer einen Ausschlag. Die hierzu bestimmten Brückenzweige wurden bei der Anordnung von Dr. Baur durch zickzackförmige Stanniolstreifen gebildet, die auf die beiden Grund-

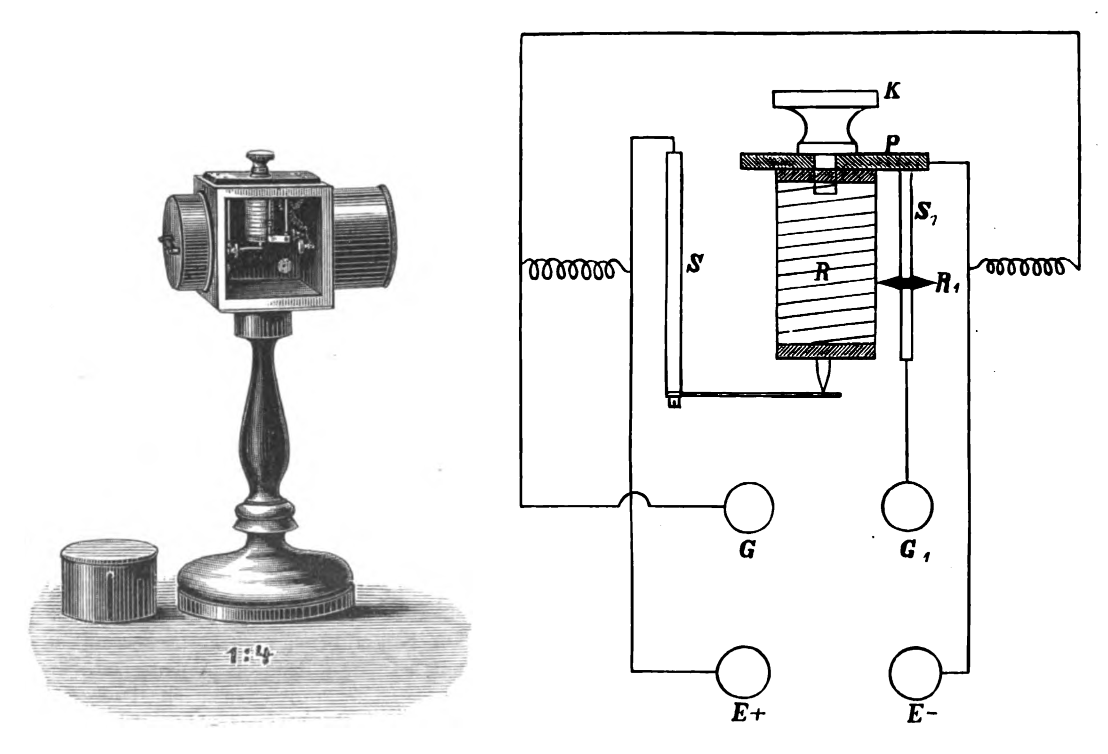


Fig. 1. Fig. 2.

flächen eines Buchsbaumcylinders geklebt waren (Wied. Ann XIX, 1883). Ueberdies waren 6 Leitungen und eine besondere Siemens'sche Brücke erforderlich. Bei dem in meinen Werkstätten construierten Bolometer sind statt der Stanniolstreifen Spiralen aus Kupferdraht ver-

wendet, die den Vorzug grösserer Empfindlichkeit haben; diese kann durch einen Concavspiegel noch erhöht werden. Messingdeckel dienen zum Schutz vor Windzug und strahlender Wärme. Im Innern des Apparats befindet sich ein kleiner Rheostat (*R*) mit einer Laufrolle (R_1), die durch Drehung eines Knopfes (*K*) von aussen verschoben werden kann. Die Rückseite trägt vier Klemmen (die in der schematischen Figur nach unten verschoben sind); *G* und G_1 werden mit dem Galvanometer, $E-$ und $E+$ mit einem kleinen Daniell- oder ganz kleinen Bunsen-Element verbunden. Der Strom geht von $E+$ durch die Säule *S* und die Feder in das untere Ende des Rheostatendrahtes *R*, durchläuft diesen, tritt in die feste Platte *P*, und von da nach $E-$. Der andere Stromkreis geht von $E+$ durch die linke Spirale, dann in die rechte Spirale und nach $E-$ zurück. Die Säule S_1 und damit auch das Laufrad R_1 ist mit G_1 verbunden.

Der Apparat kann zu denselben Versuchen wie die Thermosäule dienen und besitzt bei richtiger Wahl des Elementes eine gleiche oder grössere Empfindlichkeit als diese.

Linnemann's Leuchtgas-Sauerstoffgebläse und Zirkonlicht

von Franz Schmidt und Haensch in Berlin.

Die bisher angewendeten Knallgas-Brenner haben den Fehler, dass die Verbrennung der Gase schon innerhalb der Düse stattfindet, wodurch der Nutzeffekt der höchsten Temperatur ausserhalb der Brennerdüse natürlich sehr beeinflusst wird. Professor Linnemann hat diesem Mangel in erfolgreichster Weise abgeholfen. In Figur I ist der neue Brenner mit Stativ in $^1/_5$ nat. Gr., in Figur II der Durchschnitt des Brenners in nat. Gr. dargestellt. — Das Leuchtgas tritt in den hohlen Raum der Düse, umkreist den Cylinder, welcher durch die Schraube *c* verstellbar ist und tritt aus der Düse aus. Der Sauerstoff strömt unter 15mal höherem Druck wie das Leuchtgas durch 4 Löcher in das Innere der Schraube *c* ein, um dann mit grosser Vehemenz aus der capillaren Durchbohrung *D* dieser Schraube zu entweichen. Die Schraube *c* dient für die Leuchtgas- und *d* für die Sauerstoff-Regulierung.

Die richtig normierte Flamme brennt völlig lautlos und zeigt ausserhalb der Düse eine Einschnürungsstelle, welche den heissesten Teil bildet; nur diese Stelle erzeugt, bei Betrachtung mit dem Spectral-Apparat, ein glänzendes Kohlenstoff-Spectrum. — Die Spectra der Alkalimetalle lassen sich mittelst dieser Flamme in grösster Reinheit und Vollkommenheit herstellen; es ist dazu erforderlich, dass der heisseste Theil der Flamme, der ein eigenes Spectrum hervorbringt, samt der darin befindlichen Salzperle abgeblendet und das Bild der Flamme mittelst einer Linse auf den Spalt projiziert wird. Die Abwesenheit eines continuierlichen Spectrums und der Ausschluss fremden Lichtes verschaffen dieser Lichtquelle für Spectralversuche einen ausserordentlichen Vorzug. So zeigt *Li* vier Linien auf ganz dunklem Grunde, *Na* fünf Doppellinien, *Ka* siebenundzwanzig deutliche Linien; überdies erscheint beim *Ka* der bis jetzt continuierlich gehaltene mittlere Teil des Spectrums in zahllose sehr feine und sehr nahe bei einander stehende Linien aufgelöst.

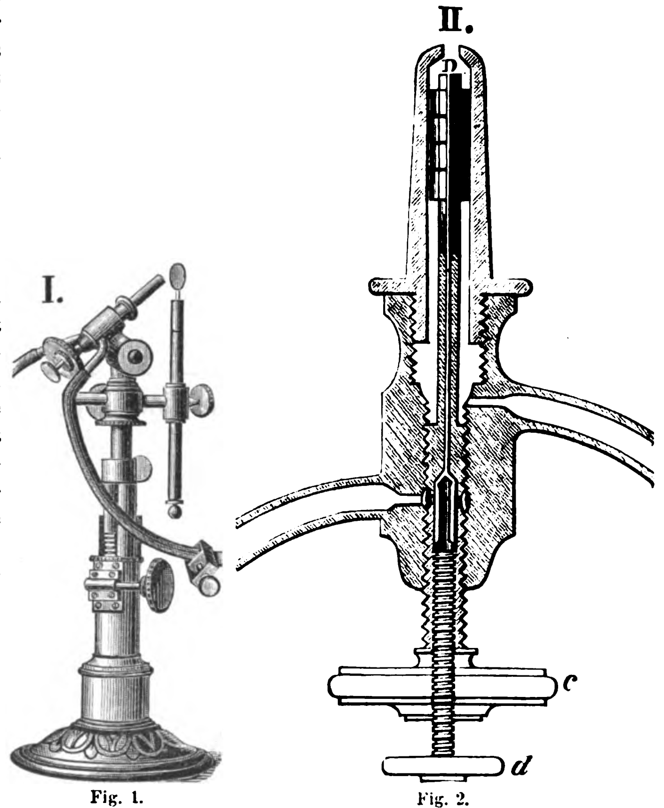


Fig. 1. Fig. 2.

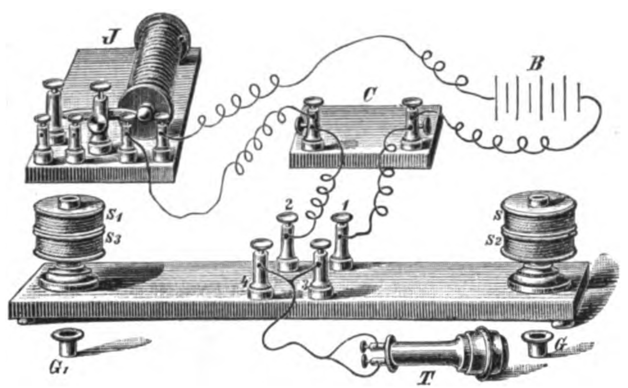
Derselbe Brenner ist auch für objektive Darstellungen und photographische Vergrösse-

rungen verwendbar. Während Kalkcylinder und Magnesiumplatten in kurzer Zeit wegschmelzen, haben sich Plättchen aus Zirkonerde, in Platin gefasst, äusserst dauerhaft und für Hunderte von Malen brauchbar erwiesen. Sie bieten den Vorteil, dass nach geschehener Einstellung zur optischen Achse eines Apparates der leuchtende Punkt völlig unverändert bleibt. Zur completen Ausrüstung des Apparats für diesen Zweck gehört noch eine Laterne mit 2 Beleuchtungslinsen, ein Gasometer (oder Gummisäcke) und eine kupferne Retorte zur Darstellung des Sauerstoffs.

Induktionswaage nach Hughes

von E. Leybold's Nachfolger in Cöln.

Im wesentlichen besteht der Apparat aus zwei auf einem Grundbrette befestigten hohlen Cylindern, welche auf ihren Aussenseiten je ein paar Drahtspulen tragen. Die Spulen sind so gewickelt, dass die Induktionswirkungen derselben aufeinander vollständig ausgeglichen sind. Das obere Rollenpaar wird durch ein Telephon zu einem Stromkreise verbunden. Das untere Rollenpaar ist in den Stromkreis einer Batterie von 4—6 Leclanché-Elementen einzuschalten, in dem sich ausserdem noch ein Condensator (C) und ein kleiner Induktionsapparat (I) befindet, der als Stromunterbrecher dient. Sobald dieser in Thätigkeit tritt, hört man im Telephon kein Geräusch. In die beiden Cylinder, welche die Spulen tragen, werden zwei kleine Holzbecher G, G_1 geschoben. Bringt man in den einen derselben ein kleines Stück Metall, etwa eine Münze, so wird das Gleichgewicht in den Spulen gestört, und im Telephon tritt je nach Grösse der Münze ein lebhaftes Geräusch auf.



Bringt man dann in den andern Holzbecher eine gleiche Münze, so herrscht wieder Stille im Telephon, vorausgesetzt, dass beide Münzen von gleichem Gewicht und derselben Legirung sind. Der allerkleinste Unterschied in Gewicht oder Legirung lässt im Telephon schon ein Geräusch vernehmen. Die verschiedenen Metalle zeigen hierbei ein verschiedenes Verhalten; während Blei und Nickel ein geringeres Vermögen haben, zeigen Kupfer, Silber und Gold ein grösseres, Eisen dagegen das grösste Vermögen, das Gleichgewicht der Induktionswaage zu stören.

Correspondenz.

MR. — In dem Aufsatze von E. Mach (Heft I, S. 5, letztes Alinea) ist nicht behauptet worden, dass gleichen Wärmezustandsänderungen eines Gases sehr nahe gleiche Volumänderungen entsprechen. Dies hat allerdings Niemand beobachtet. Jene Stelle ist offenbar nur so zu verstehen, dass verschiedene Gase bei einer gleichen Folge von Wärmezuständen (die man etwa mit dem Quecksilberthermometer untersucht) nahezu gleiche Volumänderungen erfahren, wie von Gay-Lussac und Regnault in der That beobachtet worden ist.

WR. — Durch ein Fernrohr muss, wenn es auf ∞ eingestellt ist, ein Regenbogen ebenso sichtbar sein, wie mit dem blossen auf ∞ eingestellten Auge. Dieses ist ja auch nichts anderes als ein Fernrohr.

SCH. — Als bestes Rezept zur Herstellung der Bunsen'schen Flüssigkeit für Chromsäureelemente wird uns von sachkundiger Seite das folgende angegeben: Man löse 30 g Kaliumbichromat in 300 ccm lauwarmem Wasser und füge nach dem Erkalten 40 ccm Vitriolöl hinzu. Diese Lösung enthält genügend viel Schwefelsäure für die Reaktion:

$$K_2\,Cr_2\,O_7 + 7\,H_2\,SO_4 + Zn_3 = K_2\,SO_4 + 3\,Zn\,SO_4 + Cr_2\,3(SO_4).$$

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Otto Lange in Berlin C.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

I. Jahrgang. **Februar 1888.** Drittes Heft.

Über einige Grundbegriffe der Elektricitätslehre.[1])

Von
Dr. Fr. **Poske** in Berlin.

Die Grundbegriffe der Elektricitätslehre haben sich, wie es der Gang jeder historischen Entwicklung mit sich bringt, nur allmählich geklärt. Während einzelne von ihnen, wie der Begriff der Elektricitätsmenge, seit langer Zeit unzweideutig festgestellt sind, herrscht bei andern, namentlich bei dem Begriff der elektrischen Spannung, bis heut selbst in wissenschaftlichen Darstellungen eine Verschiedenheit des Gebrauchs, die zu Verwirrungen Anlass giebt. Kein Wunder daher, wenn auch in besseren Lehrbüchern die Fassung der Grundbegriffe selten völlig klar und bestimmt ist.

Der elektrische Zustand eines Körpers unterliegt in doppelter Hinsicht einer messenden Bestimmung; es kann einerseits die Quantität der vorhandenen Elektricität, andererseits die Intensität des elektrischen Zustandes in Betracht gezogen werden. Auf dem Gebiete der Wärmelehre, wo diesen beiden Bestimmungen die Begriffe der Wärmemenge und der Temperatur entsprechen, hat sich die Sonderung der beiden Seiten der Erscheinung nur langsam und schwierig vollzogen. Nicht minder mühsam war die Scheidung, welche auf dem Gebiete der Elektricität unter dem Einflusse der von Volta entdeckten Tatsachen notwendig wurde. Und zwar findet der folgende bemerkenswerte Gegensatz statt: während bei der Wärme, ihrer specifischen Empfindungsqualität zufolge, im Temperaturbegriff die intensive Seite zuerst aufgefasst wurde, kam bei der Elektricität, gemäss dem mechanischen Charakter der zu Grunde liegenden Thatsachen, zuerst die quantitative Seite im Begriff der Elektricitätsmenge zu deutlicher Ausprägung.

Unter dem Einflusse der Hülfsvorstellung des elektrischen Fluidums, deren Brauchbarkeit für die Zusammenfassung der Erscheinungen über ihre bloss gleichnishafte Bedeutung täuschen konnte, war der Begriff der Elektricitätsmenge schon früh in die Wissenschaft eingeführt worden. Die verschiedene Intensität der Wirkungen auf eine Verschiedenheit des Quantums zurückzuführen, war dadurch nahe gelegt. Die Schlagweite des Entladungsfunkens, wie später die Entladungszahl der Lane'schen Maassflasche, diente als ein empirisches Maass dieses Quantums, und auch der Ausschlag des Elektroskops wurde naturgemäss als ein Mittel zur Vergleichung verschiedener elektrischer Quantitäten aufgefasst. Eine exakte Definition der Elektricitätsmenge endlich und damit eine Messung nach absolutem Maass wurde durch Coulomb's Untersuchungen ermöglicht. Diesen zufolge wird als Einheit der Elektricitätsmenge diejenige Menge angesehen, welche auf eine

[1]) Nach einem im Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts zu Berlin am 23. Mai 1887 gehaltenen Vortrage.

gleich grosse in der Entfernung 1 befindliche die Kraft 1 ausübt. Die hierdurch von der Proportionalitätsconstanten befreite Gleichung

$$f = \frac{e \cdot e'}{r^2}$$

führt dazu, ein beliebiges elektrisches Quantum mit der angegebenen Einheit zu vergleichen, sobald nur die Entfernung der beiden Quanta und die Grösse der zwischen ihnen ausgeübten Kraft ermittelt ist. Dabei ist über die Natur des der Messung zu Grunde liegenden Agens nichts vorausgesetzt. Als Krafteinheit wird dieselbe benutzt, welche bei den Gravitationswirkungen materieller Körper auf einander zur Anwendung kommt. Es ist vielleicht nicht überflüssig, hier an die Veranschaulichung zu erinnern, welche E. Mach von der Einheit der Elektricitätsmenge gegeben hat. Die Masse von 1 g erhält durch die Erdschwere eine Beschleunigung von 981 cm, wird also mit einer Kraft von 981 (oder rund 1000) Krafteinheiten angezogen. Man denke sich nun zwei kleine Körperchen von je 1 g Gewicht an vertikalen Fäden von 5 m Länge so aufgehängt, dass sie sich berühren. Werden beide gleich stark elektrisch und entfernen sich hierbei um 1 cm von einander, so ist ihre Ladung gleich der (elektrostatischen) Einheit der Elektricitätsmenge, denn ihre gegenseitige Abstossung hält dann der Schwerkraft-Componente von rund 1 mg das Gleichgewicht. Oder man denke sich ein sehr kleines Kügelchen an einer Wage äquilibriert, darunter ein zweites in 1 cm Entfernung. Werden beide gleich stark elektrisiert, und bedarf es eines Zuleggewichtes von 1 mg, um von neuem Gleichgewicht herzustellen, so enthält auch hierbei jedes Kügelchen (rund) die Einheit der Elektricitätsmenge.[2])

Mit dem Begriff der Elektricitätsmenge hängt aufs engste derjenige der elektrischen Dichte zusammen. Wenn gleichförmige Verteilung (auf einer Kugelfläche) vorausgesetzt wird, so bedeutet Dichte diejenige Elektricitätsmenge, welche sich auf der Flächeneinheit befindet. Bei ungleichförmiger Verteilung ist dafür das Verhältnis der Elektricitätsmenge an einer bestimmten Stelle zu der Grösse des Flächenelements, auf welchem sie sich befindet, zu setzen.

Endlich schliesst sich hier der oft missbräuchlich und in verschiedenster Bedeutung angewendete Begriff der elektrischen Spannung an. Um völlige Klarheit zu erzielen, ist an die mechanische Bedeutung dieses Begriffs anzuknüpfen. Ein Faden, der über eine feste Rolle geführt und an jedem Ende mit einem Gewicht von 1 kg belastet ist, erfährt eine Spannung von 1 kg. Dasselbe findet statt, wenn ein Faden am oberen Ende befestigt und am unteren Ende 1 kg angehängt wird; die Reaktionswirkung am festen Ende ersetzt hier das zweite Gewicht von 1 kg. Das Wort Spannung bedeutet also, seinem herkömmlichen Sinne nach, einen Druck oder Zug, der durch ein Gewicht gemessen wird. Daher wird auch der Druck, den ein eingeschlossenes Gas auf die Begrenzung seines Volumens, die Wandung des Gefässes u. s. w. ausübt, als Spannung des Gases bezeichnet.

Dem bisher Gesagten entspricht es, wenn elektrische Spannung definiert wird als der Druck, den ein bestimmter Teil der Oberfläche eines Conductors in Folge der abstossenden Kraft der gesamten übrigen Elektricität auf die an dieser Stelle befindliche erfährt; gemessen wird dieser Druck durch diejenige Kraft, welche auf die Einheit der Oberfläche ausgeübt werden würde, also durch so und so viel Pfund per Quadratzoll oder so und so viel Gramm per Quadratcentimeter (*Maxwell, El. and Magn. 1, §. 48*). Diese Definition ist vollständig unabhängig von

[2]) E. Mach, Über die Grundbegriffe der Elektrostatik. Vortrag, geh. auf der internat. elektr. Ausstellung in Wien am 4. Septbr. 1883, abgedruckt in „Lotos", Jahrb. f. Naturw., 1884.



der Vorstellung, die man sich im übrigen über die Beschaffenheit des Agens und die Art des Zustandekommens der beobachteten Wirkung bilden mag. Man muss sich demzufolge bei dem Begriff der Spannung vergegenwärtigen, dass eine dünne metallene Hohlkugel oder besser noch eine Seifenblase, wenn sie elektrisiert wird, eine wirkliche mechanische Einwirkung erfährt, durch welche ihre Oberfläche in der Richtung der Normale nach aussen getrieben wird. Die Grösse dieses Druckes lässt sich in gewissen Fällen leicht berechnen; sie beträgt z. B. für eine Kugel von 1 cm Durchmesser, die mit Hülfe einer Elektrisiermaschine von 30 cm Funkenlänge geladen ist, etwa $^1/_{70}$ einer Atmosphäre (Serpieri). Ein hierauf bezüglicher Versuch ist bereits durch Van Marum angestellt worden; er beobachtete, dass ein mit Wasserstoff gefüllter Ballon, wenn er elektrisiert wurde, sich leichter erwies und eine grössere Steigkraft gewann.[3])

Nicht selten findet man Spannung und Dichte wie gleichbedeutende Begriffe gebraucht.[4]) Aber abgesehen von der verschiedenen Definition zeigt schon eine elementare Überlegung, dass Spannung und Dichte nicht einmal einander proportional sind. Wird etwa die Dichte auf einer Oberfläche verdoppelt, so verdoppelt sich sowohl die Menge der an einer bestimmten Stelle befindlichen Elektricität als auch die Menge der gesamten übrigen Elektricität, von der jene abgestossen wird. Die Spannung wächst also mit dem Quadrat der Dichte.[5])

Man könnte geneigt sein, durch den Begriff der Spannung auch die Intensität eines elektrischen Zustandes gekennzeichnet zu finden. Dass dies aber nicht in zureichender Weise der Fall ist, geht schon daraus hervor, dass die Spannung an einer bestimmten Stelle wesentlich von der Dichtigkeit an dieser Stelle abhängt und also bei nicht kugelförmigen Conductoren für verschiedene Stellen im allgemeinen verschiedene Werte besitzt. Vielmehr hat sich zur Kennzeichnung der Intensität bekanntlich am geeignetsten der Begriff des Potentials erwiesen, dessen Wert für den Fall des elektrischen Gleichgewichts, also bei elektrostatischen Erscheinungen, für alle Teile desselben Leiters constant ist. Doch ist der Potentialbegriff in die Elektrostatik ursprünglich nur als ein Hülfsbegriff zur Berechnung der in Wirkung tretenden Kräfte eingeführt gewesen; das Bedürfnis, ihn zur Kennzeichnung des elektrischen Zustandes zu verwenden, ist erst durch das Studium der galvanischen Erscheinungen hervorgerufen worden.

In der Lehre von der galvanischen Elektricität findet sich das Wort Spannung

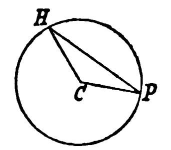
---

[3]) H. Januschke, Das Prinzip der Erhaltung der Energie in der elementaren Elektricitätslehre, S. 10.

[4]) So u. a. selbst bei Fliedner (Aufgaben, 6 Aufl. XXXI 3, und Auflösungen, 6 Aufl.), der doch in seinem „Lehrbuch“ eine zutreffende Definition dieser Begriffe giebt.

[5]) Eine einfache Ableitung des Wertes der Spannung für den Fall einer Kugelfläche hat W. Thomson *(Reprint of papers etc. p. 88)* gegeben. Ist σ ein Oberflächenelement am Punkte P, ω ein Raumwinkelelement bei P, welches bei H eine kleine Fläche ausschneidet, so hat diese die Grösse $\omega \,.\, (PH)^2/\cos CHP$. Die Abstossung, welche diese Fläche auf σ ausübt, ist (wenn ρ die Dichte bedeutet) gleich dem Produkt der beiden Elektricitätsmengen, dividiert durch das Quadrat des Abstandes:

$$\frac{\rho\omega \,.\, (PH)^2}{\cos CHP} \cdot \frac{\rho\sigma}{(PH)^2} = \frac{\omega}{\cos CHP} \cdot \rho^2\sigma,$$



daher die Componente der Abstossung in der Richtung des Radius CP:

$$\frac{\omega}{\cos CHP} \cdot \rho^2\sigma \,.\, \cos CHP = \omega\rho^2\sigma\,,$$

woraus durch Summation über die ganze Kugel folgt: $2\pi\rho^2 \,.\, \sigma$.

sehr allgemein als identisch mit Potential gebraucht; namentlich auch in elementaren Darstellungen ist es üblich, bei Darlegung des Verhaltens der Volta'schen Säule sich des Wortes Spannung zu bedienen; von diesem aber wird häufig überhaupt keine Definition gegeben, oder es wird auf die elektrostatische Definition verwiesen, die für den vorliegenden Fall nicht mehr zutrifft. Man sieht leicht, dass der Begriff der Spannung ganz neu und abweichend von dem früher festgestellten Gebrauch definiert werden müsste, wenn er sich mit dem des Potentials decken sollte. Wenn „Spannung" einen Druck bedeutet, so bezeichnet „Potential" eine Arbeitsgrösse. Es entspricht nicht sowohl der Spannung (etwa eines Bogens), als vielmehr der in dem gespannten Bogen aufgespeicherten „Spannkraft". Auch eine Proportionalität zwischen beiden ist nicht vorhanden, denn wie schon bemerkt, ist die Spannung an verschiedenen Stellen eines Conductors je nach der Dichte verschieden, das Potential dagegen constant; auf zwei Conductoren kann die Spannung gleich, das Potential aber verschieden sein, so dass die Elektricität trotz gleicher Spannung von dem einen zu dem andern übergeht, wenn man beide metallisch verbindet. —

Der Gebrauch des Wortes Spannung bei galvanischen Erscheinungen schreibt sich aus der frühesten Zeit dieses Wissenschaftszweiges her, aus einer Periode also, in welcher die Begriffe Spannung, Dichtigkeit, Elektricitätsmenge, elektrische Kraft noch nicht scharf auseinander gehalten wurden. Volta, in seiner Abhandlung *„Sull identità del fluido elettrico col fluido galvanico"* (1802), ringt danach, für die electroskopische Wirkung der durch Contakt elektrisch gewordenen Metallplatten den angemessenen Ausdruck zu finden: „la forza, l'intensità o tensione elettrica, come io la chiamo", mit diesen Worten sucht er die eigenartige Erscheinung, um die es sich handelt, zu beschreiben.[6]) Erinnert nicht die Verlegenheit des Ausdrucks aufs lebhafteste an die Art, wie Galilei an einer berühmten Stelle (mit Dühring zu reden), einen Begriff zu verdeutlichen sucht, für den er keine ihm völlig genügende Formel zu finden weiss? Dort braucht Galilei zur Erläuterung des Momentbegriffes die Wendungen: „l'impeto, il talento, l'energia o vogliamo dire il momento del discendere".[7])

Auch Biot, in dem Bericht über Volta's Versuche, den er 1801 im Namen der dazu eingesetzten Kommission dem französischen Nationalinstitut erstattete, schwankt in der Wahl der Bezeichnung. Er hat eine exakte Vorstellung davon, dass das, was „Spannung des elektrischen Fluidums" genannt wird, durch die Repulsivkraft verursacht ist, mit welcher dessen Teile sich von einander zu entfernen streben, oder mit welcher sie ein neues Teilchen, das sich ihnen verbinden wollte, wegstossen.[8]) Er ist daher vorsichtiger im Gebrauch dieses Wortes und spricht in der Darstellung der Volta'schen Theorie bald von dem „elektrischen Zustand" der Metallplatten, bald von der „Quantität" der Elektricität. Späterhin wendet er auch das Wort Spannung abweichend von der vorher gegebenen Definition an, um damit die „Quantität" der Elektricität auf einer Metallplatte zu bezeichnen.

Mit grosser Klarheit spricht sich G. S. Ohm in der berühmten kleinen Schrift *„Die galvanische Kette"* (1827) über den neuen Grundbegriff aus. Es sei gestattet, eine für unsern Zweck wichtige Darlegung daraus wörtlich anzuführen:

---

[6]) Volta, opere, Firenze 1816, t. II, 2, 181.

[7]) Galilei, opere, XII, 174; vgl. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik, 3. Aufl. S. 24.

[8]) Gilbert, Annalen X, 395; vgl. auch Hoppe, Geschichte der Elektricität, S. 145.



„Um die Veränderungen, welche in der elektrischen Beschaffenheit eines Körpers *A* vorfallen, auf eine völlig bestimmte Weise verfolgen zu können, bringen wir diesen Körper jedesmal unter einerlei Umständen mit einem zweiten beweglichen Körper von unveränderlicher elektrischer Beschaffenheit, das Elektroskop genannt, in Verbindung und bestimmen die Kraft, womit das Elektroskop von dem Körper abgestossen oder angezogen wird. Diese Kraft nennen wir die elektroskopische Kraft des Körpers *A*, und um unterscheiden zu können, ob sie eine abstossende oder anziehende ist, setzen wir in dem einen Falle das Zeichen + und in den anderen das Zeichen — vor die Angabe ihres Maasses“.[9])

Nach der hier gegebenen Erläuterung, die das rein Thatsächliche an dem eingeführten Begriff mit Bestimmtheit hervortreten lässt, ist die elektroskopische Kraft Ohm's mit dem identisch, was in früheren Untersuchungen (auch von ihm selber) mit dem Worte Spannung bezeichnet worden war. Bei den von Ohm angestellten Messungen wurde anfangs eine Säule von 100 dreizölligen Plattenpaaren und kochsalzgetränkten Pappscheiben angewendet, deren freie Enden durch einen Messingdraht von $^1/_{16}'''$ Dicke und $300'$ Länge verbunden waren; die elektroskopische Kraft längs des Drahtes war ihrer Grösse und Verteilung nach nur mittelst eines Condensators am Elektroskop nachzuweisen; dagegen gelang es bei Anwendung eines sehr dünnen Eisendrahtes von gleicher Länge, die Grösse und „Beweglichkeit“ jener elektroskopischen Kraft auch direkt am Elektroskop deutlich wahrzunehmen. Bei späteren Versuchen wurden 12 Becher-Elemente mit dem gleichen Erfolge benutzt. R. Kohlrausch endlich bestätigte (*Pogg. Ann. Bd. 78, 1848*) Ohm's Messungen der elektroskopischen Kraft mit Hülfe des Dellmann'schen Elektrometers durch Versuche mit einem einzigen Element, wobei der Messdraht auf einem Holzbrett zickzackförmig ausgespannt war.

Es würde ganz angemessen sein, die Ohm'sche Bezeichnung auch im Unterricht bei der Einleitung in den Galvanismus anzuwenden, wenn nicht inzwischen ein weiterer wichtiger Schritt in der Auffassung der „elektroskopischen Kraft“ oder des „elektroskopischen Zustandes“ erfolgt wäre. G. Kirchhoff hat nämlich in einer grundlegenden Abhandlung gezeigt (1849), dass die Ohm'sche Theorie der galvanischen Kette erst dadurch mit den elektrostatischen Gesetzen in Einklang gebracht wird, dass man die „elektroskopische Kraft“ als identisch mit dem annimmt, was in der Elektrostatik als das „Potential“ der Elektricität in einem Leiter bezeichnet worden ist. Demzufolge ist die Grösse, die bei der Wirkung eines elektrischen Körpers auf ein Elektroskop maassgebend ist, nichts anderes als das Potential der Elektricität in dem Körper. Eine genaue Maassbestimmung dieser Grösse ist freilich erst durch die absoluten Elektrometer von W. Thomson möglich geworden, die nach einer von Snow Harris (1834) ausgesprochenen Idee construiert worden sind, deren Prinzip aber schon weit früher von Volta, sowie von P. L. Simon (1808) und Egen (1828) bei ihren Wage-Elektrometern in Anwendung gebracht worden ist.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass sowohl Ohm als Kirchhoff auch nach der Einführung der „elektroskopischen Kraft“ noch von elektrischer Spannung reden; aber sie bezeichnen damit nicht diese elektroskopische Kraft oder das Potential, sondern den „Unterschied der elektroskopischen Kräfte“ oder den „Unterschied der Werte des Potentials“ in zwei Körpern. Damit ist eine dritte

---

[9]) G. S. Ohm, die galvanische Kette. Berlin 1827, S. 87.



Bedeutung des vielgestaltigen Begriffes aufgestellt, die aber auch nicht mehr der ursprünglichen Vorstellung von der Spannung als von einem Drucke entspricht. In der Wissenschaft und in der Technik mag der verschiedene Gebrauch eines und desselben Wortes keinen so grossen Nachteil mit sich bringen, weil der Kundige leicht übersieht, mit welcher Bedeutung er es im gegebenen Falle zu thun hat. Anders beim Unterricht, wo auf Klarheit und Eindeutigkeit der Begriffe zu halten ist. Der Gebrauch des Wortes Spannung sollte daher auf die erste Definition (Spannung = Druck) beschränkt bleiben. Wollte man dennoch, der historischen Tradition zu Liebe, das Wort „Spannung" auch in dem Sinne von „Potential" anwenden, so würde es wenigstens durch die genauere Bezeichnung „Volta'sche Spannung" von jener ersten Bedeutung zu unterscheiden und neu zu definieren sein. Diese wie auch die dritte Definition (Spannung = Potentialdifferenz) sollte nur erwähnt werden, um den historischen Ausdruck „Spannungsreihe" und den technischen Gebrauch des Wortes zu erläutern.

Wenn es sich nun aber darum handelt, den elektrischen Zustand an den verschiedenen Stellen einer galvanischen Kette, also die elektroskopische Kraft Ohm's, mit einem einfachen Ausdruck zu bezeichnen, so bietet sich dafür, dem oben angedeuteten Entwicklungsgang der Wissenschaft zufolge, eben der Ausdruck „elektrisches Potential" als durchaus sachgemäss dar. Dies ist nicht so zu verstehen, dass im Unterricht mit der exakten analytischen Definition dieses Begriffes begonnen oder auch nur die Beziehung zum Energiebegriff von vornherein klargelegt werden soll. Die Sache steht vielmehr so, dass der Potentialbegriff selber durch die Anwendung auf den elektrischen Zustand der abstrakt analytischen Sphäre, in welcher er entstanden war, entrückt und in Beziehung zu einer sachlich anschaulichen Unterlage gesetzt wurde. Der Wert des Potentials in einem Leiter ist demnach als ein Merkmal des elektrischen Zustandes anzusehen in dem gleichen Sinn, in welchem die Temperatur als Merkmal des thermischen Zustandes gilt. Potential bezeichnet daher soviel wie Grad, Stärke, Intensität des elektrischen Zustandes und deckt sich völlig mit dem, was von Volta „intensità", von Pfaff (in Gehler's Wörterbuch) und auch von Fechner „elektrische Intensität" genannt worden ist. Man hat sich überdies zu vergegenwärtigen, dass auch jene mathematische Funktion, als welche das Potential in der mathematischen Physik zuerst auftrat, ihrer ursprünglichen Bedeutung nach dazu gedient hat, einen gewissen Zustand an einer bestimmten Stelle des Raumes zu kennzeichnen[10]); und dass mit der Beziehung auf die Energie, im Arbeitsäquivalent, nur die eine Seite des Begriffes erschöpft, die eigentlich qualitative Seite aber, die das Besondere dieses Zustandes ausmacht, unberücksichtigt gelassen wird. Es erscheint daher sowohl durch die Natur der Sache als durch die historische Entwicklung völlig gerechtfertigt, wenn bei der Einleitung in den Galvanismus die folgende Definition zu Grunde gelegt wird:

> Elektrisches Potential heisst der elektrische Zustand eines Körpers, wie er sich durch die Wirkung auf ein Elektroskop (oder Elektrometer) zu erkennen giebt.[11])

[10]) Von Professor E. Mach werde ich darauf aufmerksam gemacht, dass er ebenfalls in einem Aufsatz „Über Guébhard's Darstellung der Aequipotentialcurven" (Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. Bd. 86, S. 13) die Funktion φ, welche der Gleichung $\Delta\varphi = 0$ entspricht, als Kennzeichen eines bestimmten Zustandes, sei es der Wärme, der Elektricität oder der Strömung, charakterisiert hat.

[11]) Noch allgemeiner würde es anscheinend sein, wenn man „Potential" als diejenige Eigenschaft elektrischer Körper definierte, vermöge welcher bei der Berührung Elektricität von



Wollte man einer deutschen Bezeichnung den Vorzug geben, so würde hierfür nach dem vorher Gesagten nicht das Wort „Spannung“, sondern schlechthin „elektrischer Zustand“ oder „Grad des elektrischen Zustandes“, oder auch „Elektricitätsgrad“ in Betracht kommen.

An die gegebene Definition schliessen sich ferner die folgenden:

1. Zwei Körper haben gleiches (elektrisches) Potential, wenn sie in Verbindung mit einem und demselben Elektrometer einen gleichen Ausschlag hervorrufen.
2. Ein Körper hat ein höheres (elektrisches) Potential als ein anderer, wenn er an demselben Elektrometer einen stärkeren Ausschlag hervorruft als dieser. Potentiale von positiver und solche von negativer Elektricität sind wie entgegengesetzte Grössen zu behandeln.

Dabei ist zu bemerken, dass der Ausschlag des Elektrometers zunächst nicht als ein Maass, sondern nur als ein Merkmal des elektrischen Zustandes angesehen werden darf — ebenso, wie dies von E. Mach bezüglich der Messung des Wärmezustandes durch das Thermometer ausgeführt worden ist (Heft 1 S. 4). Die Angaben des Elektrometers führen daher zunächst nur zu einer Zahlenreihe, welche den Graden des elektrischen Zustandes zugeordnet ist und durch Anwendung eines Condensators nach beiden Richtungen hin beliebig ausgedehnt werden kann. (Schon Volta hatte eine Reihe von immer empfindlicheren Wage-Elektrometern so zusammengestellt, dass er damit eine Skala von 1450 „Graden“ beherrschte). Auch hier ist aber ein glücklicher Umstand von Nutzen: ein für elektrometrische Messungen viel verwendeter Apparat, das Thomson'sche Quadranten-Elektrometer, zeigt in seinen Ausschlägen innerhalb gewisser Grenzen völlige Proportionalität mit den absoluten Werten des Potentials, wie sie einer genauen analytischen Bestimmung entsprechen. Es ist daher dieses Elektrometer in einer für diesen Zweck vereinfachten Form, auch vorzugsweise dazu geeignet, zur experimentellen Erläuterung jener Definitionen und zur Vorführung der daran sich schliessenden elektrischen Thatsachen beim Unterrichte zu dienen.

Die Sätze über das Potential gestalten sich auf diese Weise völlig analog denen, welche für die Temperatur gelten. Ueberdies ist es auch für die elementarste Betrachtung empfehlenswert, darauf hinzuweisen, dass sich die gewöhnlichen Elektroskope und Elektrometer zum absoluten Elektrometer gerade so verhalten, wie die Thermoskope und die sonstigen Thermometer zum Luftthermometer; dass Thomson's Quadranten-Elektrometer für die Elektricität dieselbe Rolle spielt, wie das Differential-Thermometer für die Wärme u. s. f.

---

dem einen auf den andern übergeht; doch würde damit praktisch nichts gewonnen sein, da man zur Constatierung der eingetretenen Veränderung doch ein elektrometrisches Verfahren einzuschlagen genöthigt sein wird.

Der Einwand, dass die Contakt-Elektricität zwischen dem Elektrometer-Metall und dem zu prüfenden Körper der Anwendung der obigen Definition im Wege steht, ist deswegen nicht von Gewicht, weil sich Vorkehrungen treffen lassen, um diesen Einfluss zu beseitigen oder besonders in Rechnung zu ziehen.

Erheblicher ist der Umstand, dass das Potential eines elektrisch geladenen Körpers durch Abgabe eines Teils der Ladung an das Elektrometer eine Verminderung erfährt; doch wird durch diesen Umstand der Wert der elektrometrischen Messung ebensowenig endgültig beeinträchtigt, wie derjenige der thermometrischen Messung durch die Thatsache, dass zwischen dem Thermometer und dem zu untersuchenden Körper ein Wärmeausgleich stattfindet.

Man kann einwenden, dass die Elektrometer keine solchen Fixpunkte besitzen, wie das Thermometer. Aber das Wesentliche, was beiden gemeinsam ist, besteht eben darin, dass bei beiden nach einer willkürlich gewählten empirischen Einheit gemessen wird; diese Einheit ist in dem einen Fall der hundertste Theil der Länge, um welche sich eine gegebene Quecksilbermasse in einem Rohr von gegebener Weite ausdehnt — im andern Fall der Ausschlag, welchen ein Elektrometer von gegebenen Dimensionen anzeigt, wenn die durch ein Daniell'sches Element dargestellte Potentialdifferenz darauf einwirkt. Eine Proportionalität der Angaben des Instruments mit dem Grade des zu messenden Zustandes ist in keinem von beiden Fällen an und für sich verbürgt. Auch begnügt man sich in Wissenschaft wie Technik im allgemeinen mit den empirischen Angaben der beiden Arten von Instrumenten; im besonderen wird die praktische Messung von Potentialen in der Regel dadurch bewirkt, dass bei einem den Leistungsbereich des Apparats übersteigenden Betrage eine Gegenschaltung von bekannten elektromotorischen Kräften nach dem Prinzip der Wage vorgenommen wird, so dass nur der etwa überschiessende Bruchteil eines Daniell am Elektrometer gemessen zu werden braucht. Nur wo es sich um absolute Maassbestimmungen handelt, ist die Umsetzung der gefundenen Werte in Einheiten des absoluten Maasssystems oder die Anwendung von Messapparaten besonderer Art erforderlich. Messungen solcher Art gehen aber über das Bedürfnis einer ersten Einführung in den Galvanismus im Schulunterricht hinaus.

Die Analogie mit der Wärme liefert auch eine willkommene Bekräftigung für die eben vorgetragene Auffassung des Potentials; denn das Wort „Temperatur“ ist lange gebraucht worden und wird noch heute gebraucht lediglich als Bezeichnung für den „Wärmezustand“, in welchem sich ein Körper befindet. Es ist ein eigentümlicher Gegensatz, dass sich für den Begriff „Temperatur“ erst spät eine exakte, absolute Definition herausgebildet hat, während der Gebrauch des Wortes „Potential“ mit der mathematischen Definition anhob und erst lange nachher eine Identifikation mit dem „elektrischen Zustande“ erfahren hat. Diese Verschiedenheit des historischen Ganges ist indessen nur scheinbar; denn auch in der Lehre vom Galvanismus ist der Begriff des „elektrischen Zustandes“ dem der genaueren Bestimmung dieses Zustandes durch den Potentialbegriff vorausgegangen. Die Analogie von Wärme- und Elektricitätsleitung ist übrigens schon von Ohm hervorgehoben und bei der theoretischen Ableitung seines Gesetzes benutzt worden. Noch heut wird man gut thun, zur Erläuterung des Ohm'schen Gesetzes die Erscheinungen bei der Wärmefortpflanzung heranzuziehen. Diese Analogie ist geeigneter als die beliebte hydrodynamische, so fruchtbar auch die Vorstellung der verschiedenen Niveauhöhen ist, um die Erhaltung einer constanten Potentialdifferenz unter dem Einflusse der elektromotorischen Kraft zu veranschaulichen. Für den Strömungsvorgang aber ist diese Analogie um so weniger dienlich, als sie nur unter ganz besonderen Bedingungen zutrifft, die weder experimentell noch rechnungsmässig der elementaren Behandlung zugänglich sind[12]).

Die Analogie von Wärme und Elektricität führt endlich dazu, auch auf die Unterschiede zwischen ihnen aufmerksam zu machen; in dieser Hinsicht ist namentlich das Verhalten eines erwärmten Körpers im Innern einer Hohlkugel

[12]) Poiseuille's Gesetz für Flüssigkeitsströmung durch enge Röhren ist als das wahre Analogon des Ohm'schen Gesetzes zu betrachten, vgl. E. Riecke, *Über einige Beziehungen zwischen hydrodynamischen und elektrischen Erscheinungen. Gött. Nachr. 1887, No. 1.*



zu vergleichen mit dem Verhalten eines elektrischen Körpers in gleicher Lage. Zweitens ist auf die Verschiedenheit zu achten, welche durch das Vorhandensein einer verschiedenen Wärmecapacität der Körper bedingt wird, während die elektrische Capacität zwar von der Anwesenheit benachbarter Leiter, aber nicht von dem Stoffe des Körpers, dem sie zugehört, abhängig ist.

Durch die im Vorstehenden auseinandergesetzte anschauliche Fassung des Potentialbegriffes soll dessen mathematisch-mechanische Deutung nicht ausgeschlossen sein; vielmehr enthält die Art, wie dieser Begriff eingeführt wird, selbst schon den Hinweis und die Forderung, dass die vorläufige empirische Messung durch eine solche nach absolutem Maass zu ersetzen ist. Wie die Darstellung dieses Zusammenhanges zu geschehen hat, und in welchem Umfange der Begriff der Energie auch beim Unterrichte in der Elektricitätslehre zur Geltung zu bringen ist, dies festzustellen wird eine der nächsten und wichtigsten Aufgaben dieser Zeitschrift sein.

Die Überleitung von der empirischen zu der mathematischen Definition des Potentials wird etwa auf folgende Art vorgenommen werden können. An die gegebene Definition schliessen sich unmittelbar die beiden durch Versuche nachzuweisenden Erfahrungsthatsachen:

1. Werden zwei Körper von gleichem Potential mit einander leitend verbunden, so geht keine Elektricität von dem einen auf den andern über.
2. Werden zwei Körper von ungleichem Potential mit einander leitend verbunden, so geht (positive) Elektricität von dem Körper mit höherem Potential zu demjenigen mit niedrigerem Potential über. — Ein besonderer Fall hiervon ist die Ableitung eines (positiv oder negativ) elektrischen Körpers zur Erde.

Man kann nun einen elektrisierten Leiter in der Weise allmählich entladen denken, dass durch Berührung mit einem zweiten Leiter der anfangs vorhandene Elektricitätsgrad n successive um je 1 vermindert wird; der zweite Leiter wird dann von dem ersten abgestossen werden und eine Geschwindigkeit annehmen, welcher ein gewisser Betrag von geleisteter Arbeit entspricht. Auf diese Weise wird die Vorstellung erzeugt, dass ein jeder Elektricitätsgrad auf einem Leiter ein bestimmtes Arbeitsquantum repräsentiert. Man sieht auch sofort, dass dieses Arbeitsquantum um so grösser sein muss, je höher der Elektricitätsgrad des in Betracht kommenden Körpers ist. Daraus lässt sich weiter folgern, dass, um einen und denselben Körper bis zu einem gewissen Elektricitätsgrad n zu laden, eine um so grössere Arbeit erforderlich ist, je höher dieser Elektricitätsgrad ist. Es ist ferner leicht einzusehen, dass der Betrag dieser Arbeit nicht nur von dem Elektricitätsgrad, sondern auch von der auf dem Körper befindlichen Elektricitätsmenge (bezw. von der Capacität des Körpers) abhängig, und zwar dass er dieser Elektricitätsmenge proportional ist. Als Maass des elektrischen Zustandes würde daher diejenige Arbeit angesehen werden können, die erforderlich ist, um die Elektricitätsmenge 1 auf diesen Zustand zu bringen. Statt dessen ist man übereingekommen, als Maass des elektrischen Zustandes die Arbeit anzunehmen, die erforderlich ist, um die Elektricitätsmenge 1 (bez. einen damit geladenen Körper) an den Körper heranzubringen, der bereits den Elektricitätsgrad n besitzt; diese Arbeit ist, wie eine elementare Betrachtung zeigt, das Doppelte derjenigen Arbeit, welche im vorigen Fall erforderlich war. Man kann endlich die Hinzuziehung des



Begriffes der Elektricitätsmenge ganz vermeiden, indem man die als Maass des elektrischen Zustandes eingeführte Arbeit auf eine Kugel vom Radius 1 cm bezieht, welche mit dem zu untersuchenden Körper in elektrischem Gleichgewicht steht. Das Potential 1 würde hiernach demjenigen Körper zukommen, bei welchem diese Arbeit (in absoluten Maasse) den Wert 1 hat. Damit ist die genauere Maassbestimmung gegeben, welche an die Stelle der anfänglichen empirischen Messung des Potentials zu treten hat, ohne dass jedoch deren eigentümlich anschaulicher Charakter dadurch beeinträchtigt zu werden braucht.

Ein Wellenapparat zur Demonstration der Zusammensetzung von zwei und mehreren Transversalwellen mit stetiger Änderung des Gangunterschiedes.

Von

Prof. Dr. **L. Pfaundler** in Innsbruck.

Der hier zu beschreibende Apparat, welcher auf der Wiesbadener Naturforscherversammlung ausgestellt war, ist als eine Verbesserung des vom Verfasser in dem Müller-Pouillet'schen Lehrbuche (9. Aufl. I, 655 und 811) publizierten und abgebildeten Apparates anzusehen. Vor ähnlichen Wellenapparaten, welche schon früher von Dove und Brücke, später auch von Weinhold angegeben worden sind, hat dieser zwei Vorteile voraus. Einmal ist er so eingerichtet, dass, während die zusammengesetzte Welle fertig erscheint, stetige Änderungen am Gangunterschiede der zusammensetzenden Wellen hervorgebracht und demnach der Einfluss dieser Gangunterschiede auf die Form der resultierenden Welle besser gezeigt werden kann. Dann aber ist er noch mit einer Einrichtung versehen, um für gewisse wichtige Fälle die Zusammensetzung der resultierenden Welle mit weiteren, successive hinzugefügten Wellen demonstrieren zu können. Als Beispiel ist dabei die Zusammensetzung der Welle eines Grundtons mit den Wellen der ungeradzahligen Obertöne gewählt, welche bekanntlich bei den stehenden Wellen schwingender Saiten eine wichtige Rolle spielt.

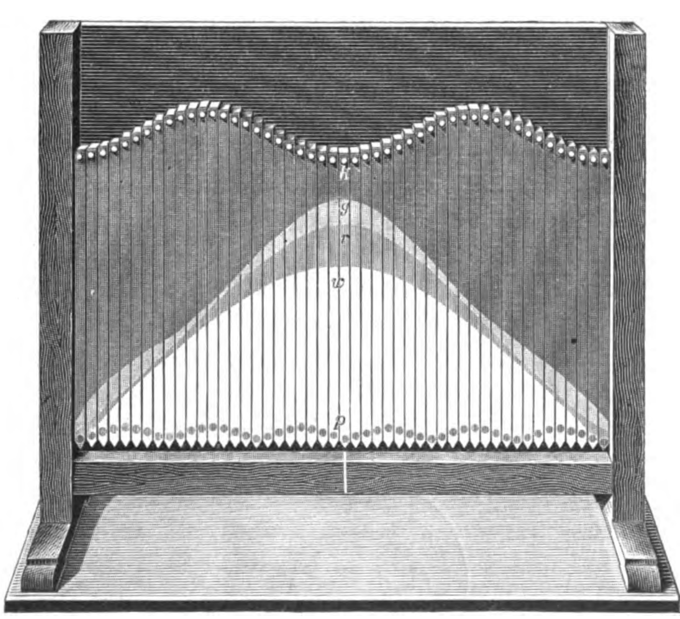


Fig. 1 (1/10 nat. Gr.).

Der Apparat (Fig. 1) besteht aus einem Holzgestelle mit vertikaler schwarz gefärbter Rückwand, vor welcher 49 Holzstäbchen mit quadratischem Querschnitte in senkrechter Lage nahe an einander stehend auf und abbewegt werden können. In der Anfangslage stehen die unteren Kanten dieser Stäbchen alle auf einer

horizontalen Leiste auf, über welche sie nach vorne um die halbe Dicke hervorragen. Die oberen Enden der Stäbchen tragen weisse Knöpfe (k), welche bei dieser Lage eine doppelte Sinuswelle darstellen. Die Führung der Stäbchen ist durch ebenso viele vertikale Schlitze in der Rückwand bewerkstelligt, in welche von jedem Stäbchen zwei Metallstifte hineinragen, die durch Schraubenmuttern an der Hinterseite vor dem Hervorfallen gesichert sind. Die Vorderseite der Stäbchen ist im oberen Teile geschwärzt, im mittleren Teile sind mehrere Curven aufgetragen und durch Färbung der dazwischen liegenden Flächen weithin sichtbar gemacht. Gegen das untere Ende endlich ist noch eine rotgefärbte Punktreihe (p) in Form einer Welle geringerer Wellenlänge aufgetragen.

Die auf den Stäbchen in der Anfangslage (Fig. 1) ersichtlichen Wellen sind folgende:

1. Eine doppelte Welle, gebildet durch die weissen Knöpfe (k),
   von der Wellenlänge $\lambda = 36$ cm und der Amplitude $a = 3$ cm.
2. Eine weiss bemalte halbe Welle (w)
   von der Wellenlänge $\lambda = 144$ cm und der Amplitude $A = 25$ cm.
3. Eine rot punktierte 6fache Welle (p)
   von der Wellenlänge $\lambda = 12$ cm und der Amplitude $\alpha = 1$ cm.
4. Eine rot bemalte Curve (r) } beide von unten zu besprechender
5. Eine gelb bemalte Curve (g) } Wellenform.

Um die Zusammensetzung der Wellensysteme zu bewerkstelligen, wird dann, wie Fig. 2 zeigt, eine der sieben dem Apparate beigegebenen Wellenschablonen aus Holz unter den Stäbchen eingeschoben und durch Hin- und Herziehen derselben der gewünschte Gangunterschied hervorgebracht.

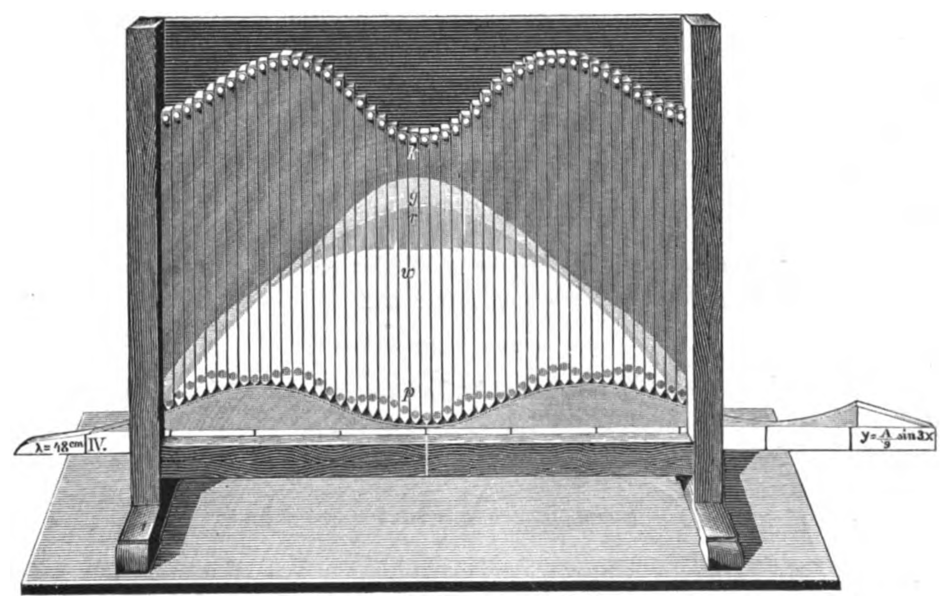


Fig. 2 (1/10 nat. Gr.).

Diese Wellenschablonen sind teils weiss, teils rot, gelb oder orangefarbig bemalt und entsprechen Wellensystemen von verschiedener Wellenlänge und Amplitude. Die folgende Tabelle enthält sämtliche 21 Kombinationen, welche sich zwischen diesen Wellen und den auf den Stäbchen gezeichneten herstellen lassen.

Übersicht der Combinationen von je zwei Wellen.

Wellen-schablonen	Weisse Knopfreihe. Wellenlänge 36 cm Amplitude $a = 3$ cm	Weiss bemalte grosse Halbwelle. Wellenlänge 144 cm Amplitude $A = 25$ cm	Rot punktierte Welle. Wellenlänge 12 cm Amplitude $\alpha = 1$ cm
I (weiss). $\lambda = 36$ cm Ampl. 3 cm	$y = a \sin x + a \sin (x + \vartheta)$	$y = A \sin x + \frac{3}{25} A \sin (4x + \vartheta)$	$y = \alpha \sin x + 3\alpha \sin \left(\frac{1}{3} x + \vartheta\right)$
II (weiss). $\lambda = 24$ cm Ampl. $^3/_2$ cm	$a \sin x + \frac{1}{2} a \sin \left(\frac{3}{2} x + \vartheta\right)$	$A \sin x + \frac{3}{50} A \sin (6x + \vartheta)$	$\alpha \sin x + \frac{3}{2} \alpha \sin \left(\frac{1}{2} x + \vartheta\right)$
III (weiss). $\lambda = 18$ cm Ampl. $^3/_2$ cm	$a \sin x + \frac{1}{2} a \sin (2x + \vartheta)$	$A \sin a + \frac{3}{50} A \sin (8x + \vartheta)$	$\alpha \sin x + \frac{3}{2} \alpha \sin \left(\frac{2}{3} x + \vartheta\right)$
IV (rot). $\lambda = 48$ cm Ampl. $^{25}/_9$ cm	$a \sin x + \frac{25}{27} a \sin \left(\frac{3}{4} x + \vartheta\right)$	$A \sin x + \frac{1}{9} A \sin (3x + \vartheta)$	$\alpha \sin x + \frac{25}{9} \alpha \sin \left(\frac{1}{4} x + \vartheta\right)$
V (gelb). $\lambda = 28{,}8$ cm $\left(\frac{144}{5}\right)$ Ampl. 1 cm	$a \sin x + \frac{1}{3} a \sin \left(\frac{5}{4} x + \vartheta\right)$	$A \sin x + \frac{1}{25} A \sin (5x + \vartheta)$	$\alpha \sin x + \alpha \sin \left(\frac{5}{12} x + \vartheta\right)$
VI (orange). $\lambda = 20{,}6$ cm $\left(\frac{144}{7}\right)$ Ampl. $\frac{25}{49} = {}^1/_2$ cm	$a \sin x + \frac{1}{6} x \sin \left(\frac{7}{4} x + \vartheta\right)$	$A \sin x + \frac{1}{49} A \sin (7x + \vartheta)$	$\alpha \sin x + \frac{1}{2} \alpha \sin \left(\frac{7}{12} x + \vartheta\right)$
VII (weiss). $\lambda = 10{,}8$ cm $\left(\frac{9}{10} \cdot 12\right)$ Ampl. 1 cm	$a \sin x + \frac{1}{3} a \sin \left(\frac{10}{3} x + \vartheta\right)$	$A \sin x + \frac{1}{25} A \sin \left(\frac{40}{3} x + \vartheta\right)$	$\alpha \sin x + \alpha \sin \left(\frac{10}{9} x + \vartheta\right)$

Unter diesen Combinationen von je zwei Wellen sind hervorzuheben:

Eine Welle, welche durch die Gleichung

$$y = a \sin x + a \sin (x + \vartheta)$$

dargestellt ist. Durch diese wird die Aufhebung zweier gleichen Wellen oder die Verdoppelung ihrer Amplituden durch Interferenz demonstriert (*Unisono*).

Eine Welle, welche durch die Gleichung

$$y = a \sin x + \frac{1}{2} a \sin \left(\frac{3}{2} x + \vartheta\right)$$

dargestellt ist: Diese entspricht der Combination von *Grundton* und *Quinte* mit halber Amplitude der letzteren.

Eine Welle, welche durch

$$y = a \sin x + \frac{1}{2} a \sin (2x + \vartheta)$$

dargestellt wird, entsprechend der Combination von *Grundton* und *Oktave* (von halber Amplitude.)

Diese drei Wellen erscheinen an der weissen Knopfreihe. (Es wird sich beim Unterricht empfehlen, den nicht benutzten Teil des Apparates vorläufig zu verhüllen.)

Die nun folgende Combination erscheint an der roten Punktreihe:

Eine Welle dargestellt durch

$$y = \alpha \sin x + \alpha \sin\left(\frac{10}{9}x + \vartheta\right),$$

entsprechend dem Tonintervall $^{10}/_{9}$ (eines *ganzen Tones*), zugleich zur Demonstration der Stösse geeignet.

Zu sämtlichen bisherigen Combinationen dienen die weissbemalten Wellenschablonen. Zu der nun folgenden Reihe von Experimenten gehören die rot, gelb und orange bemalten Holzschablonen und überdies zwei Schablonen aus Pappe. Es handelt sich dabei um successive Zusammensetzung der den ungraden Obertönen entsprechenden Wellen mit der grossen Halbwelle, welche durch die weisse Fläche auf den Stäbchen dargestellt ist.

Man schiebt zunächst die rote Schablone IV ein; kommt dabei das Wellenthal in die Mitte zu stehen, so entsteht die Fig. 2, entsprechend der Gleichung

$$y = \mathrm{A} \sin x + \frac{1}{9}\mathrm{A} \sin 3x\,.$$

Schiebt man aber den Wellenberg in die Mitte, so entsteht die Welle:

$$y = \mathrm{A} \sin x - \frac{1}{9}\mathrm{A} \sin 3x,$$

welche sich schon etwas der Form eines gleichschenkligen Dreiecks nähert. Diese nämliche Welle ist auf einer Pappschablone kopiert; wie man sich überzeugt, indem man die letztere vor die weisse Fläche hinhält. Jetzt zieht man die Holzschablone heraus und zeigt, dass dieselbe Welle in der Anfangsstellung des Apparates rot aufgemalt ist (*r* in Fig. 1). — Nun gibt diese rote Welle den Ausgang zur Combination mit der gelben Holzschablone V. Dadurch entsteht, wenn wiederum ein Wellenberg derselben in die Mitte zu stehen kommt, die dreifachcombinierte Welle von der Gleichung:

$$y = \mathrm{A} \sin x - \frac{1}{9}\mathrm{A} \sin 3x + \frac{1}{25}\mathrm{A} \sin 5x;$$

diese, jetzt durch die rote Fläche formierte Welle, welche sich noch mehr der Dreiecksform nähert, ist wiederum auf einer Pappschablone kopiert, wie man durch Vorsetzen der letzteren zeigt. Nach dem Herausziehen der Holzschablone erscheint dieselbe Welle gelb bemalt auf dem in der Anfangslage befindlichen Apparate (*g* in Fig. 1). Endlich wird noch die orangefarbige Holzschablone eingeschoben. Es formiert sich, sobald wieder ein Wellenberg in die Mitte zu stehen kommt, die vierfach combinierte Welle entsprechend der Gleichung:

$$y = \mathrm{A} \sin x - \frac{1}{9}\mathrm{A} \sin 3x + \frac{1}{25}\mathrm{A} \sin 5x - \frac{1}{49}\mathrm{A} \sin 7x,$$

welche noch mehr der Dreiecksform sich nähert, als die früheren. Es ist dann leicht plausibel zu machen, dass durch Fortsetzung des Verfahrens sich die noch abgerundete Kuppe in der Mitte immer mehr zuspitzen muss, da immer schmälere Wellenberge dort sich übereinanderhäufen werden. Damit ist es also ermöglicht, die aus dem Fourier'schen Theoreme für die Form einer schwingenden Saite abzuleitenden Folgerungen durch den Versuch zu veranschaulichen.



Der Fachmann wird ausser den hier angegebenen Demonstrationen noch manche andere mit dem Apparate anzustellende herausfinden; auch lassen sich leicht noch weitere Holzschablonen anfertigen. Eine in Fig. 1 und 2 nicht eingezeichnete, nachträglich am Apparate angebrachte gerade weisse Linie gestattet ausserdem die Entstehung einer Transversalwelle durch Einschieben einer Holzschablone zu demonstrieren.

Die Firma Leybold's Nachfolger in Köln wurde von mir ausschliesslich autorisiert, den Apparat in der hier beschriebenen Form herzustellen.

Apparate zur Wärmelehre.

Von

Dr. **Friedrich C. G. Müller** in Brandenburg a. H.

1. Ein Luftthermometer.

In der beistehenden Figur zeigt *A* die Thermometerkugel von etwa 40 mm Durchmesser. *A* ist durch die zweimal rechtwinklig gebogene Capillare *B* mit dem kurzen 8 mm weiten Rohr *C* verbunden, welches seinerseits mittels des Gummischlauchs *D* mit der ebenso weiten Glasröhre *E* communiciert. Letztere ist in der Hülse *G* mit einiger Reibung nach oben und unten verschiebbar. Im Schlauch, sowie im unteren Teil von *C* und *E*, befindet sich Quecksilber. Ueber dem Quecksilber in *C* steht Schwefelsäure von 1,8 V.G., welche durch eine Spur Zucker schwarz gefärbt worden ist, und deren Stand durch Heben und Senken der Röhre *E* bei jedem Versuch bis zum Index *K* gebracht wird.

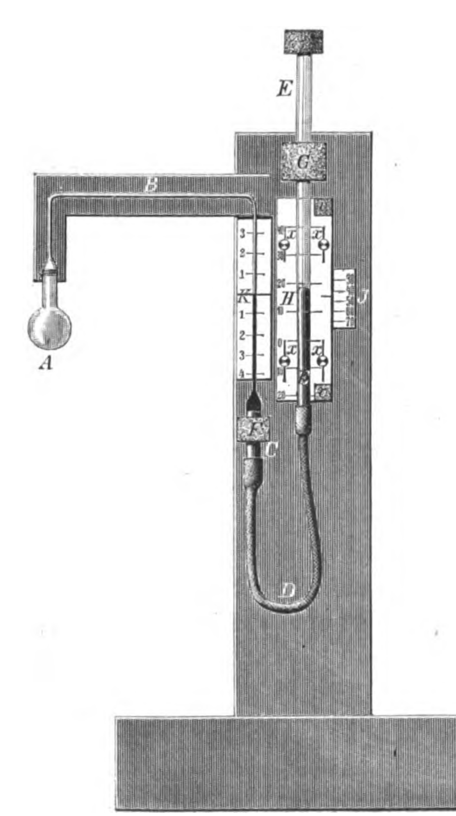


Fig. 1 (1/8 nat. Gr.)

Hinter *E* ist die verschiebbare Thermometerskala *H* angebracht, daneben die feste Millimeterskala *J* zur Correktion des Luftdrucks. Wie nun der Apparat gebraucht wird, bedarf keiner weiteren Erörterung. Das Neue an demselben ist die Einführung der Schwefelsäure als Indicator. Wegen ihres 7,6 mal kleineren V.G. ist die Einstellung ungleich schärfer und bequemer, als bei Quecksilber. So ist an dem Apparate, welchen ich benutze, die Entfernung der Gradstriche auf der Skala *H* gleich 3 mm, während der Stand der Säure bei *K* durch eine Temperaturschwankung von 1° um 19 mm geändert wird, sodass man in einem Abstande von 4 m noch eine Differenz von 0,1° erkennen kann. Zum Messen kleiner Temperaturdifferenzen dient die Skala bei *K*. Eine noch grössere Empfindlichkeit muss eintreten, wenn man durch Heben von *E* die Säure in den horizontalen Teil von *B* treibt. Indessen zeigt sich dann infolge der Dickflüssigkeit der Schwefelsäure eine störende Trägheit, sodass selbst nach 5 Minuten der Stand

nicht ganz stationär wird, während die Einstellung bei K nach wenigen Sekunden erfolgt. Vielleicht lassen sich an Stelle der Schwefelsäure auch hochsiedende und dünnflüssige organische Verbindungen verwenden. Ich wählte Schwefelsäure, weil sie bis 100° so gut wie keine Dämpfe abgiebt und überdies die in der Thermometerkugel vorhandenen Wasserdämpfe absorbiert.

Man kann sich den beschriebenen Apparat leicht selber herstellen. Zu dem Zweck bläst man an das eine Ende einer 150 mm langen, 8 mm weiten Glasröhre die Thermometerkugel. Da wo der Stiel der Kugel nachher an das Gestell gebunden werden soll, macht man vor der Lampe eine leichte Einschnürung; am andern Ende lässt man die Röhre sich etwas verjüngen, um später den Schlauch bequem darauf schieben zu können. Nunmehr zieht man die Röhre in der Mitte zu einer gegen 1 mm weiten 400—500 mm langen Capillare aus, wobei man durch Stauchen der Glasmasse für eine gehörige Wandstärke zu sorgen hat. Die Biegung der Capillare geschieht mit aller Vorsicht über einem ganz kleinen Flämmchen.

Die Halter F und G bestehen aus sorgfältig gebohrten Korken; diese kittet man mittels Siegellacks auf das Hinterbrett, dessen Länge etwa 60 cm beträgt. Um das Thermometer zu befestigen, hängt man es bei der Biegung über der Kugel auf einen in den horizontalen Arm des Gestells eingetriebenen Stift und drückt dann das Ende C durch die Bohrung von F. Hierauf bindet man den Stiel der Kugel mittels feinen Drahtes gehörig fest. Über E, welches sich in einer der herrschenden Temperatur entsprechenden Stellung befindet, ist bereits das eine Ende des dickwandigen Schlauchs geschoben. Während man das andere Ende neben die Öffnung von C hält, giesst man soviel Quecksilber in den Schlauch, bis es etwa 90 mm unter dem Rande steht. Dann bringt man auf das Quecksilber 10 mm Schwefelsäure und schiebt den Schlauch über C. Schliesslich giesst man oben in E soviel Quecksilber nach, bis die Säure zum Index K gelangt. Dazu wird etwa 100 mm Überdruck erforderlich sein.

Die Skalen werden auf Streifen von Cartonpapier aufgetragen und mit Heftzwicken befestigt. Die Hauptskala H enthält oben und unten feine parallele Längsschlitze von 50 mm Länge, durch welche man die Zwicken X nicht zu fest in das Hinterbrett eintreibt, sodass sich der Streifen bequem auf und nieder schieben lässt. Korkstückchen V, die oben und unten auf die Streifen gekittet wurden, dienen dabei als Handhaben.

Zur Berechnung der Skala H stellt man auf den Index ein und beobachtet Temperatur und Luftdruck, sowie die Höhen der drückenden Quecksilber- und Schwefelsäure-Säulen. Sei T die beobachtete absolute Temperatur und D der Gesamtdruck, unter dem die eingeschlossene Luft steht, so gilt für die Druckvermehrung x, welche einer Temperaturerhöhung um 1° entspricht,

$$\frac{T+1}{T}=\frac{D+x}{D},$$

woraus sich als der Abstand der Skalenstriche für je 1° Temperaturerhöhung ergiebt

$$x=\frac{D}{T}.$$

Wenn später die Skala fertig ist, beobachtet man wieder Temperatur und Luftdruck, stellt den der Temperatur entsprechenden Strich auf die Kuppe ein und befestigt dann die Millimeterskala J derart, dass der dem Luftdruck entsprechende Strich vor dem Index auf der Hauptskala steht.



Behufs Herstellung der Nebenskala K muss das Querschnittsverhältnis der Capillare und des Rohres C bekannt sein. Angenommen es sei 1 : 100. Wird nun die Kuppe in E um einen Skalenteil gesenkt, so wird die Schwefelsäure in der Capillare etwa 20 mm sinken, mithin das Quecksilber in C um 0,2 mm. Sei die Länge eines Skalenteils a mm, so wäre die Quecksilbersäule nicht um einen, sondern um

$$1 - \frac{0,2}{a}$$

Skalenteile erniedrigt. Also muss ich die beobachtete Strecke von 20 mm auf

$$20 \cdot \frac{a}{a - 0,2} \text{ mm}$$

vergrössern, um den richtigen Abstand der Gradstriche an der Skala K zu erhalten.

Da man an der Hauptskala ohne feinere Messapparate nur bis auf 0,1° ablesen kann, hilft man sich in der Weise, dass man mittels eines dünnen Stechhebers 13,6 Striche Wasser in E bringt, resp. aus E wegnimmt und im übrigen verfährt, wie angegeben. Selbstverständlich muss die Thermometerkugel bei diesen Arbeiten in ein grösseres Wasserquantum von Zimmertemperatur eintauchen. Dann gelingt die Justierung bis auf 0,01°.

Falls die Capillare wie beschrieben durch Ausziehen hergestellt worden, also konisch ist, bestimmt man die Lage der Teilstriche an der Skala K experimentell mit Hilfe eines feinen Quecksilberthermometers, an dem man noch 0,01° ablesen kann, wie es sich an jedem guten Psychrometer befindet. Man taucht dieses und das Luftthermometer in ein Gefäss mit Wasser von Zimmertemperatur, rührt durch Einblasen von Luft gut um und stellt den Schwefelsäurefaden genau auf den Index ein. Darauf erwärmt oder kühlt man durch Zugiessen von etwas heissem oder kaltem Wasser um annähernd 1, 2, 3 Grade und misst die zugehörigen Verschiebungen des Fadens in beiden Thermometern.

Beim Nichtgebrauch muss E so tief gestellt werden, dass infolge von Temperaturerniedrigung keine Schwefelsäure nach A hinübergezogen werden kann.

Was schliesslich die Verwendung des Apparates im Unterricht anlangt, so soll er in erster Linie die Richtigkeit des Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetzes zeigen. Man lässt zu dem Zweck von den Schülern die Skalenberechnung wiederholen und zeigt dann die Übereinstimmung des Luftthermometers mit dem Quecksilber- oder Schwefelsäure-Thermometer.

Selbstverständlich kann der Apparat auch zu vielen thermometrischen Versuchen dienen. Ganz besonders brauchbar zeigt er sich bei der genauen Messung geringer Temperaturdifferenzen, namentlich bei calorimetrischen Experimenten. Endlich lässt er sich auch bei Versuchen über die strahlende Wärme verwenden.

2. Apparat zur Messung der Spannung des Wasserdampfs in lufterfüllten Räumen.

A ist eine grosse Flasche von mindestens 6 Liter Inhalt, welche einerseits mit der Manometerröhre B, andererseits durch den Schlauch C mit der tubulierten Flasche D in Verbindung steht. Alles Übrige ist aus der Figur leicht zu erkennen.

A wird sorgfältig gereinigt und mit Fliesspapier getrocknet. Dann hängt man einen Tag vor der Ausführung des Versuchs einen mit Chlorcalciumstückchen gefüllten, fingerdicken Drahtnetzcylinder hinein. Zugleich bringt man auf den Boden

eine dünnwandige zugeschmolzene Glaskugel mit Wasser. Beim eigentlichen Beginn des Versuchs wird vor den Augen der Schüler das Chlorcalcium herausgenommen, der Stopfen mit den Röhren aufgesetzt, *B* mit gefärbtem Wasser bis zur Hälfte gefüllt und der Schlauch mit *D* verbunden. Nun zertrümmert man durch stossende Bewegung der Flasche die Glaskugel. Alsbald steigt das Wasser im Manometer. Um die Verdunstung zu beschleunigen, neigt man, während das Manometer mit einem Kork verschlossen wird, die Flasche hin und her, sodass die Seitenwände benetzt werden. Man fasst sie dabei nicht direct mit der Hand, sondern mittels eines zusammengelegten Tuchs an. Nach wenigen Minuten wird das Manometer stationär. Nachdem die Niveaudifferenz gemessen, lässt man durch Hinunterdrehen der Ausflussröhre soviel Wasser aus *D* in einen calibrierten Cylinder fliessen, bis die Flüssigkeit in beiden Schenkeln von *B* gleich hoch steht. Der beobachtete Druck und die erhaltene Wassermenge müssen nach dem Mariotte'schen Gesetz in einer bestimmten Beziehung stehen. Bei einem Klassenversuche betrug die Temperatur 13°, der Luftdruck 750 mm. Die Flasche fasste 6,8 Liter. Der beobachtete Druck betrug 144 mm Wasser oder 10,6 mm Quecksilber. Darnach hätten rechnungsmässig 96 ccm ausfliessen sollen, während 98 ccm wirklich ausflossen.

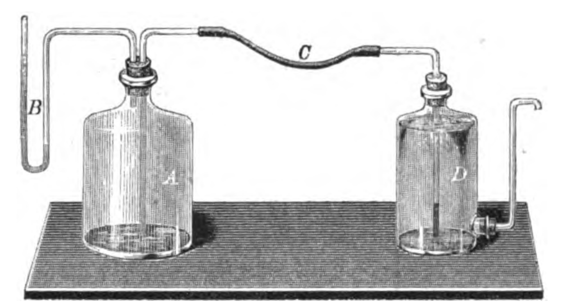


Fig. 2 (1/15 nat. Gr.).

Soll der Versuch eine noch exaktere Form erhalten, so verbindet man, nachdem der Chlorcalciumcylinder aus der Flasche gezogen und der Stopfen aufgesetzt ist, *B* erst mit einem grösseren Trockenapparat und saugt mittels eines Aspirators ein Luftquantum, dessen Volum ein mehrfaches von *A* ist, hindurch.

Vorlesungs-Versuche über Diffusion und Absorption der Gase.

Von
Dr. N. Zuntz,
Professor an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin.

Zur Erläuterung der physikalischen Grundlagen des Respirationsprocesses habe ich mir eine Reihe von Experimenten zusammengestellt, welche sich bei der Einfachheit der erforderlichen Mittel und der Durchsichtigkeit der ablaufenden Vorgänge auch für den Schulunterricht verwenden lassen werden.

1. Diffusion der Gase.

a) Nachdem auf bekannte Weise gezeigt ist, dass Kohlensäure schwerer ist als Luft, und dass ein Licht in Kohlensäure erlischt, leitet man in das cylindrische Glasgefäss, das zu diesen Nachweisen gedient hat, noch einmal Kohlensäure und lässt es einige Minuten offen stehen; ein eingesenktes Licht brennt jetzt weiter. Es ist also, der Schwere entgegen, Kohlensäure aus dem Gefäss herausdiffundiert und durch atmosphärische Luft ersetzt worden.

b) Die Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit vom specifischen Gewicht

der Gase wird mit Hülfe einer **vollkommen trockenen** porösen Thonzelle gezeigt (vgl. *Pfaundler, Physik* (9) *I, p. 604*). Die nach unten gerichtete Öffnung der etwa 300 ccm fassenden Thonzelle ist mit einem Kork verschlossen, durch den zwei etwa 4 mm breite Glasröhren hindurchgehen. Die eine von diesen ist etwa 60 cm lang und führt senkrecht nach unten in ein kleines mit gefärbtem Wasser gefülltes Gefäss; die andere kürzere, reicht bis nahe zum Boden der Thonzelle und ist aussen rechtwinklig gebogen. Die Füllung geschieht, indem man durch die kürzere Röhre Gas einleitet und während dessen die Diffusion durch einen übergestülpten, an Boden und Seiten der Thonzelle eng anschliessenden Mantel von starkem glattem Schreibpapier beschränkt.

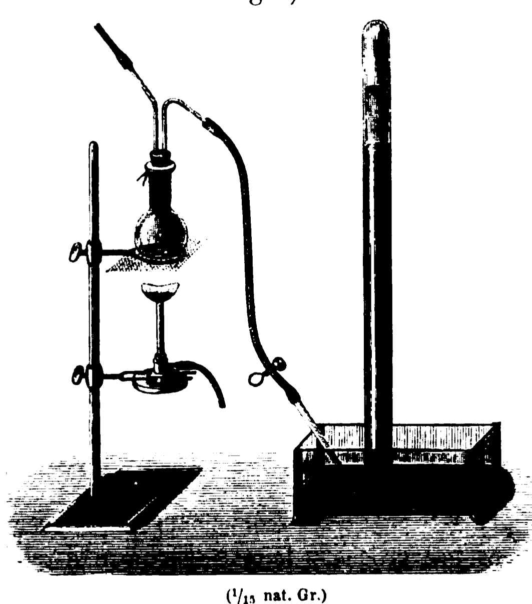
Bei Füllung des Cylinders mit Wasserstoff überwiegt die Diffusion nach aussen so sehr, dass das Sperrwasser rasch um 30—40 cm emporsteigt; dann fällt es langsam wieder ab infolge der Filtration von Luft in den luftverdünnten Raum. — Die reine Wirkung der letzteren zeigt man bei luftgefülltem Cylinder, indem man das Sperrwasser durch Saugen an der umgebogenen Röhre ebenso hoch emporhebt, wie es vorher durch die Wasserstoffdiffusion stieg.

Andererseits wird der Thoncylinder mit Kohlensäure gefüllt: es überwiegt jetzt der Diffusionsstrom der Luft in den Cylinder, der überschüssige Inhalt tritt Blase nach Blase durch die sperrende Flüssigkeit aus.

2. Absorption von Gasen in Flüssigkeiten.

a) Man füllt ein etwa 1 m langes, 15—18 mm weites genügend befeuchtetes Rohr mit Quecksilber, stülpt es in der Quecksilberwanne um, und zeigt dass der Quecksilbermeniscus um den Wert der Tension des Wasserdampfes niedriger steht, als im Barometer.

In einer neben der Quecksilberwanne erhöht stehenden Spritzflasche (vgl. die nebenstehende Figur) ist inzwischen Wasser in heftigem Sieden erhalten worden; an das längere Rohr der Spritzflasche setzt sich aussen ein enger, etwa 50 cm langer Kautschukschlauch an, dessen Ende mit einem hakenförmig umgebogenen Glasrohr versehen und durch einen Quetschhahn verschliessbar ist. Dieser Schlauch ist vor dem Kochen (durch Hineinblasen in das kurze Rohr der Spritzflasche) mit Wasser gefüllt worden, welches nachher, indem man den Quetschhahn eine kurze Zeit öffnet, durch ausgekochtes ersetzt wird. Man lässt jetzt eine etwa 13 cm hohe Schicht des ausgekochten Wassers ins Vacuum steigen und zeigt, dass **nach dem Erkalten** der Druck der Wassersäule plus dem der Quecksilbersäule ebenso gross ist, wie vorher der der Quecksilbersäule allein. Nebenher beobachtet man während des Abkühlens des eingeführten Wassers die Beziehung zwischen Temperatur und Dampftension. — Nach Entleerung der Torricelli'schen Röhre wird der Versuch mit lufthaltigem Wasser



(1/15 nat. Gr.)

wiederholt. Man bemerkt das lebhafte Entweichen der absorbierten Luft und kann bei den angegebenen Dimensionen eine Tensionsverminderung um etwa 2 cm Quecksilber nachweisen. Ein dritter Versuch mit Wasser, durch welches ein Kohlensäure-Strom bis zur Sättigung gegangen, ergiebt unter gleichen Verhältnissen eine Depression der Quecksilbersäule um etwa 19 cm.

b) Parallel zu dieser Versuchsreihe, welche die Abgabe der absorbierten Gase demonstriert, würde eine zweite die Aufnahme der Gase in luftfreies Wasser zu zeigen haben: Zwei Röhren von etwa 25 cm Länge werden über Quecksilber bis zu correspondierenden Marken mit Luft resp. Kohlensäure gefüllt; dann kommt in jede auf die eben beschriebene Weise ein gleiches Quantum ausgekochten Wassers; nach wiederholtem heftigen Schütteln der mit dem Daumen verschlossenen Röhren zeigt sich der Niveauunterschied entsprechend der Grösse der resp. Absorptionscoefficienten.

3. Diffusion von Gasen durch Flüssigkeitsmembranen.

Bekanntlich erlaubt die Diffusion durch poröse Thonwände keinen direkten Schluss auf die Diffusion durch Flüssigkeitshäute, wie sie beim Eintritt der Luft aus den Lungenbläschen ins Blut stattfindet. Diese erfolgt vielmehr proportional den Absorptionscoefficienten der Flüssigkeit und umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus dem specifischen Gewicht der Gase.[1])

a. Man fülle einen hohen, 6—10 cm weiten Glascylinder mit Kohlensäure und lasse in diesen eine gewöhnliche Seifenblase aus recht gutem Material fallen.[2]) Die Blase schwimmt auf der Kohlensäure und wächst zusehends, da die Kohlensäure etwa 25 mal rascher nach innen, als die Luft nach aussen diffundiert. In demselben Maasse, wie die Blase an Umfang zunimmt, sinkt sie langsam tiefer hinab. Die wachsende Verdünnung lässt sich an den Interferenzfarben verfolgen.

b) Eine mit Wasserstoff gefüllte Blase hingegen, die in Luft emporsteigt, nimmt an Volumen ab, aber viel langsamer als die Luftblase in der Kohlensäure zunimmt; da sie schwerer wird (wegen des Ersatzes von Wasserstoff durch Luft), so beginnt sie nach einiger Zeit zu sinken.

c) Um zu zeigen, dass Gase auch durch festere colloide Substanzen diffundieren, leitet man Kohlensäure durch einen dünnwandigen Kautschukschlauch und sperrt diesen dann an beiden Enden durch Quetschhähne zu; am anderen Tage ist der Schlauch leer und vollkommen platt gedrückt; die Kohlensäure ist also durch den Schlauch nach aussen diffundiert. Dass diese Erklärung die richtige ist, geht daraus hervor, dass ein mit Luft gefüllter Kautschukschlauch prall bleibt.

Das Mitnehmen durch die Reibung.

Von

Professor Dr. **A. Handl** in Czernowitz.

Es giebt manche Erscheinungen, über welche man beim Unterrichte rasch hinweggeht, ohne ihnen eine gründliche Betrachtung zu widmen, obwohl die Frage nach ihrer Erklärung sich den Schülern, welche nur einigermaassen beobachten und denken, von selbst aufdrängt und auch verhältnismässig leicht zu beantwor-

[1]) Nach Exner, Wied. Ann. **155**, p. 321 u. 443 (1875).

[2]) Nach Marianini, Ann. d. Chim. et d. Phys. (3) IX, p. 382 (1843).

ten wäre. Solches Vorgehen ist aber insofern von Schaden, als es die Schüler zwingt, sich mit halber und unklarer Einsicht zu begnügen, und ihnen eine Oberflächlichkeit einprägt, welche dem obersten Ziele des Unterrichtes geradezu entgegengesetzt ist. Dazu gehören die folgenden Versuche:

Legt man auf den Hals einer Flasche ein Kartenblatt und darauf eine Münze, derart dass sich diese über der Mündung der Flasche befindet, und schnellt man das Kartenblatt mit dem Finger fort, so fällt die Münze in die Flasche hinab.

Ferner: Legt man mehrere hölzerne Damenbrettsteine so aufeinander, dass sie eine kleine senkrechte Säule bilden, und schiebt den untersten Stein langsam vorwärts, so lässt sich die ganze Säule vorwärts bewegen; schlägt man aber mit einem schmalen Körper, z. B. einer Messerklinge, stark gegen den untersten Stein, so fliegt er fort, ohne dass die übrigen Steine in merkliche Bewegung geraten; die Säule fällt um die Dicke des herausgeschlagenen Steines, bleibt aber aufrecht stehen. (*Weinhold*, *Vorschule.*)

Man benutzt diese Versuche, um das Beharrungsvermögen zu zeigen. Warum aber die Unterlage bei langsamer Bewegung den darauf liegenden Körper mitnimmt, bei schneller Bewegung (scheinbar!) nicht, darüber geht man mit der Bemerkung hinweg, es sei nicht hinreichend Zeit vorhanden, um die Bewegung von der Unterlage auf den darauf liegenden Körper zu übertragen. Damit ist offenbar sehr wenig erklärt, denn es bleiben die Fragen unerörtert: Wie viel Zeit ist zu jener Übertragung der Bewegung nötig? Bei welcher Geschwindigkeit der Unterlage geht die eine Erscheinung in die andere über? u. s. w.

Die gründlichere Beantwortung dieser Fragen ist einfach. Auf der wagerechten Unterlage liegt ein Körper vom Gewichte Q; ist f der Reibungscoefficient, so ist fQ die Grösse der Reibung. (Wir setzen dabei voraus, die Gestalt des Körpers sei eine solche, dass ein Rollen oder Umkippen auf der Unterlage nicht vorkommen kann). Da die Kraft Q dem Körper in einer Sekunde die Beschleunigung $g = 981$ (cm/sec²) zu erteilen vermag, so wird ihm die Kraft fQ die Beschleunigung fg erteilen können. Diese Kraft wirkt aber jeder gegenseitigen Verschiebung des Körpers und der Unterlage entgegen; soll sich der Körper auf der ruhenden Unterlage bewegen, so tritt sie als Bewegungshindernis auf, was uns jetzt nicht bekümmert; soll die Unterlage unter dem Körper weggezogen werden, so wirkt die Reibung als „bewegende Kraft“, welche den Körper mitzunehmen strebt.

Nehmen wir vorerst an, der Unterlage werde auf irgend eine Weise eine gleichmässig andauernde Beschleunigung g' erteilt, so dass sie in der beliebigen Zeit t die Geschwindigkeit $c' = g't$ erlangt. Ist $g' \leq fg$, so erscheint der Körper durch die Reibung wie fest mit der Unterlage verbunden, er nimmt ohne weiteres ebenfalls die Beschleunigung g' an und hat zu jeder Zeit die gleiche Geschwindigkeit wie die Unterlage. Ist aber $g' > fg$, so kann und muss der Körper unter dem Einflusse der Reibung die Beschleunigung fg, und in der Zeit t die Geschwindigkeit fgt annehmen. In der Zeit t legt die Unterlage den Weg $s' = \frac{1}{2} g' t^2$, der Körper den Weg $S = \frac{1}{2} fgt^2$ zurück. Der Unterschied $s' - S$ ist das Wegstück, um welches der langsamer bewegte Körper auf der schneller bewegten Unterlage zurückbleibt. Ist nun L die „Länge“ der Unterlage, so wird diese während der Zeit t_1 unter dem Körper weggleiten, wenn $L = s' - S = \frac{1}{2}(g' - fg)\, t_1^2$, oder

$$t_1 = \sqrt{\frac{2L}{g' - fg}}$$

ist. Der Körper bleibt also überhaupt nicht an seinem ursprünglichen Orte, sondern wird um das Stück

$$S = \frac{1}{2} fgt_1^2 = \frac{fgL}{g' - fg}$$

nach vorwärts bewegt und erlangt dabei die wagerechte Geschwindigkeit fgt_1, kann also nach dem Verlassen der Unterlage auch nicht genau lotrecht herunterfallen. Es wird aber von der Länge L und der Beschleunigung g' abhängen, ob diese Abweichungen eine merkliche Grösse erlangen oder nicht.

Ein dieser Betrachtung entsprechender Versuch könnte in folgender Weise angestellt werden: Auf eine wagerechte Tischplatte mit abgerundeter Kante wird ein hinreichend langer Papier- oder Tuchstreifen gelegt, und an dem über den Tischrand herabhängenden Ende mit einem Gewichte P belastet, welches so gross ist, dass seine Fallgeschwindigkeit weder durch die Reibung des Streifens auf der Tischplatte, noch durch die des darauf liegenden Körpers merklich beeinträchtigt wird. Lässt man nun dies Gewicht durch die Höhe h herabfallen, wozu die Zeit $t = \sqrt{2h/g}$ erforderlich ist, so nimmt auch der Streifen die Beschleunigung g an, und legt in der Zeit t den Weg h zurück, während der darauf liegende Körper den Weg $\frac{1}{2} fgt^2 = fh$ durchläuft, also um das Stück $(1 - f) h$ gegen die Unterlage zurückbleibt. Misst man also die relative Verschiebung des Körpers auf dem Streifen, so giebt diese Messung Gelegenheit, den Wert von f zu berechnen, und mit den auf andere Weise bestimmten Reibungscoefficienten zu vergleichen. Bringt man ferner den Körper bei Beginn des Versuches in die Entfernung fh vom Tischrande, so muss er diesen mit der wagerechten Geschwindigkeit $fgt = f\sqrt{2hg}$ erreichen, und von da an als geworfener Körper weitergehen. In derselben Zeit $t = \sqrt{2h/g}$, in welcher er durch die Höhe h herabfällt, legt er den Weg $tf\sqrt{2hg} = 2hf$ in wagerechter Richtung zurück, wird also in dieser Entfernung vom Gewichte P den Boden treffen. Diese Messung giebt wieder ein Mittel zur Prüfung der Richtigkeit der Formeln, beziehungsweise zur Bestimmung von f.

Die bisherige Betrachtung entspricht nicht ganz den Bedingungen, unter welchen die eingangs erwähnten Versuche ausgeführt werden; denn bei diesen wird der Unterlage innerhalb einer sehr kurzen Zeit τ (wie man zu sagen pflegt: momentan) eine Geschwindigkeit c erteilt, die man während der übrigen Dauer des Versuches als unveränderlich betrachten kann. Während der Zeit τ kann die Beschleunigung der Unterlage $g'' = c/\tau$ gesetzt werden; da ohne Zweifel $g'' > fg$, so erfährt der Körper die Beschleunigung fg, und die gleiche Beschleunigung erfährt er noch in der folgenden Zeit ϑ, wenn die Unterlage mit der unveränderlichen Geschwindigkeit c weitergeht. Die Beschleunigung des Körpers wird solange stattfinden, bis er entweder die Geschwindigkeit der Unterlage angenommen hat und fortan mit ihr weitergeht, oder bis er infolge seines Zurückbleibens gegen die Unterlage dieselbe verlassen hat. Nennen wir die ersterwähnte Zeit ϑ_1, so ist $c = fg(\tau + \vartheta_1)$, und die während dieser Zeit von der Unterlage und vom Körper zurückgelegten Wege sind

$$U = c(\tau/2 + \vartheta_1), \quad K = \frac{1}{2} fg \cdot (\tau + \vartheta_1)^2$$

oder, wenn man für $\tau + \vartheta_1$ den Wert c/fg einsetzt,

$$U = \frac{c^2}{fg} - \frac{1}{2} c\tau, \quad K = \frac{c^2}{2fg},$$

wobei man $^1/_2 c\tau$ wohl vernachlässigen darf, so dass $U = 2K$ und die Strecke, um welche der Körper auf der Unterlage zurückbleibt,

$$D = U - K = K = c^2/2fg$$

wird. Es wird also nur von der Länge der Unterlage abhängen, ob der Körper mitgenommen wird oder nicht; ersteres geschieht, wenn $L \geqq D$ ist, letzteres, wenn $L < D$. Auch im letzteren Falle erfährt der Körper eine Verschiebung nach vorwärts und nimmt eine Geschwindigkeit in wagerechter Richtung an, welche beide von L abhängig sind, wenn c und f immer gleiche Werte behalten.

Ganz ähnlich, wenn auch nicht in so einfacher Weise durch die Rechnung zu verfolgen, ist die Erklärung der Erscheinungen, welche beim Stosse eines mit sehr grosser Geschwindigkeit bewegten Körpers gegen einen ruhenden auftreten, so des Durchreissens einer Glasscheibe durch einen gegen dieselbe geschleuderten Stein, des Durchbohrens eines Brettes durch eine Gewehrkugel, des Durchschlagens eines Holzstabes, welcher auf Glasstäben aufliegt oder an schwachen Fäden aufgehängt ist, u. dgl. Auch diese Erscheinungen pflegt man, (wenn man sie nicht ganz mit Stillschweigen übergeht) einfach mit der Bemerkung abzuthun, dass nicht genug Zeit zur Übertragung der Bewegung von den unmittelbar getroffenen Teilchen auf den ganzen Körper vorhanden sei, ohne dass dabei angedeutet wird, wie viel Zeit eigentlich dazu erforderlich wäre, und von welchen sonstigen Umständen der Vorgang beeinflusst wird.

Der Vorgang lässt sich im allgemeinen folgendermaassen klarstellen. Die erste Bewegung der unmittelbar vom Stosse betroffenen Teilchen hat eine Verschiebung derselben gegen ihre Nachbarn zur Folge; infolge dessen treten Elasticitätskräfte auf, welche den Nachbarteilchen eine gewisse Beschleunigung erteilen, aber derart, dass die gegenseitigen Verschiebungen zunächst noch immer grösser werden. Nun wird es einerseits von der Anfangsgeschwindigkeit der unmittelbar getroffenen Teilchen, andererseits von der Grösse der Elasticitätskräfte abhängig sein, ob diese Verschiebungen bis zu einem solchen Maasse anwachsen, dass sie die Grenze der vollkommenen Elasticität oder gar die Festigkeitsgrenze überschreiten. Im ersteren Falle wird eine dauernde Gestaltsveränderung, im letzteren ein Zerreissen des gestossenen Körpers eintreten.

Physikalische Aufgaben.

Neben denjenigen physikalischen Aufgaben, welche zu ihrer Behandlung der Rechnung bedürfen, giebt es auch eine Art von Aufgaben, die ausschliesslich dazu dienen, das Nachdenken des Schülers rege zu machen und ihn in der Anwendung der ihm bekannt gewordenen Gesetze zu üben. Ihre Beantwortung erfordert oft mehr Scharfsinn und Überlegung, als die Lösung der mit Rechnung verknüpften Probleme. Sie können im engeren Sinne als

‚physikalische Denkaufgaben'

bezeichnet werden. Vor Jahrzehnten hat R. Kohlrausch (Vater) im *Jahresbericht über das Kurfürstliche Gymnasium zu Rinteln (1844)* Proben solcher Übungsaufgaben veröffentlicht, und neuerdings hat G. Helm im *Programm der Annenschule zu Dresden (1885)* von neuem auf diese Aufgaben und ihren Wert für den Physikunterricht hingewiesen. Einige Aufgaben dieser Art folgen hier. *P.*



1. Wasser, welches sich bei höherem Druck mit Luft hat sättigen können, zeigt nach dem Ausströmen aus der Wasserleitung eine Trübung, die sich Minuten lang erhält und allmählich durch Klärung von den unteren Schichten aus verschwindet. Wie wird die Klärung verlaufen, wenn ein Gefäss mit derartigem Wasser auf der Schwungmaschine gleichförmig rotiert?

2. Könnte man, im Hinblick auf die Relativität der Bewegung, den Plateau'schen Versuch der Abplattung eines im Wasser-Alkohol-Gemisch schwebenden Oeltropfens auch auf die Weise ausführen, dass man das ganze Gefäss auf die Schwungmaschine setzt und rotieren lässt? *M. Koppe, Berlin.*

---

3. Wird ein Gegenstand aus einem fahrenden Eisenbahnzuge mit einer Geschwindigkeit, welche der des Zuges entgegengesetzt gleich ist, herausgeschleudert, so wird seine horizontale Geschwindigkeit aufgehoben und er fällt in senkrechter Linie mit einer Geschwindigkeit, welche nur von der Fallhöhe abhängt, zu Boden. Wo liegt das Äquivalent für die beim Wurf aufgewandte Muskelarbeit, sowie für die lebendige Kraft, welche dem Körper vermöge der Fahrtgeschwindigkeit innewohnte? (Vergrösserung der Zuggeschwindigkeit.)

4. Ist der Gasdruck in den höheren Etagen eines Hauses stärker, schwächer, oder gleich dem in den unteren? Macht es einen Unterschied, ob die Hähne offen oder geschlossen sind? Und wie verhält es sich mit dem Wasserdruck?

5. Ist die Änderung der Tonhöhe die einzige Folge, welche sich aus der Bewegung der Tonquelle für das Ohr ergiebt? (Änderung der Dauer und der Intensität des Tones.)

6. Warum erscheint im Spiegel für gewöhnlich nur rechts und links, nicht aber oben und unten vertauscht? *S. Epstein, Berlin.*

---

7. Welche physikalische Wirkung hat es, wenn man Zucker in heissem Kaffee auflöst? — (Zwei Gründe für die Abkühlung.) — Macht es einen Unterschied in der Dauer der Gesamt-Abkühlung, ob man den Zucker sofort oder erst nach teilweise erfolgter Abkühlung in den Kaffee wirft? Vorausgesetzt wird, dass die Auflösung des Zuckers die Temperatur des Kaffees, mag sie höher oder niedriger sein, stets um eine gleiche Zahl von Graden vermindert. (Es ist das Newton'sche Abkühlungsgesetz zu benutzen; legt man die genaueren Versuche zu Grunde, nach welchen die Abkühlungsgeschwindigkeit schneller als die Temperatur wächst, so ergiebt sich um so mehr, dass man um die Gesamt-Abkühlungszeit zu verkürzen, möglichst lange warten muss, ehe man den Zucker in den Kaffee wirft.) Nach *Journ. de Phys. élém.* ***II****, 250; 1887.*

8. Wenn man in einem Rezipienten feuchte Luft durch eine grosse Zahl von Pumpenstössen comprimiert hat, und man öffnet schnell den Hahn, so entweicht die Luft mit einem Zischen, das nach und nach schwächer wird. Wenn man kein Geräusch mehr hört, so schliesse man den Hahn. Wenn man ihn dann nach einer halben Stunde oder später wieder öffnet, so hört man von neuem die Luft mit einem sehr merklichen Zischen herausströmen. Die nämliche Erscheinung kann sich nach Verlauf einer folgenden halben Stunde noch einmal zeigen, aber schwächer. Wie ist die Erscheinung zu erklären?

Nach *F. A. Korschel, Bary's neue physikalische Probleme, Halle 1857.*

9. Eine Torricelli'sche Röhre wird mit Quecksilber gefüllt und an eine Wage gehängt, während ihr offenes Ende unter Quecksilber taucht. Wie gross ist die Belastung, welche die Wage erfährt?

(Dieser Versuch hat im 17. Jahrhundert als Einwand gegen den Luftdruck eine Rolle gespielt.)

10. Ein cylindrisches Glasgefäss wird, zum Teil mit Luft, zum Teil mit Wasser gefüllt, aus einem grösseren Gefäss mit Wasser emporgehoben und an eine Wage gehängt, während das offene Ende unter Wasser taucht. Wovon hängt in diesem Falle die Belastung der Wage ab?



Erdmagnetische Elemente uud meteorologische Mittelwerte für Berlin.

Mitgeteilt von Prof. Dr. **B. Schwalbe.**

Bei dem Unterrichte in den Teilen der Physik, welche sich auf die physikalischen Verhältnisse der Erde (Meteorologie, Erdmagnetismus etc.) beziehen, ist es oft notwendig Zahlenwerte zu geben, welche für den betreffenden Ort oder die betreffende Gegend von Wichtigkeit sind; dies trägt zur Belebung des Unterrichts und zur Anregung ausserordentlich viel bei. Nun bringen die Lehrbücher über diese Verhältnisse nur sehr unzureichendes Material, das überdies meist auf älteren Beobachtungen fusst. Die neueren Daten sind schwer zugänglich und oft gar nicht zu erlangen, wo sich nicht wissenschaftliche Centralstellen befinden. Wenn es nun auch nicht möglich ist, solche Zahlen für eine grosse Anzahl von Orten zu geben, so werden doch die Angaben für einige Hauptorte Deutschlands und benachbarter Länder vielen nicht unwillkommen sein. Vielfach aus Lehrerkreisen nach den jetzigen erdmagnetischen Verhältnissen von Berlin gefragt, fand ich in der laufenden Litteratur keine Angaben darüber. Durch die Freundlichkeit des Direktors der Seewarte in Hamburg, Herrn Geh.-R. Dr. G. Neumayer, erhielt ich folgende Zusammenstellung:

Beobachtungen der magnetischen Deklination (D), Inklination (J) und Horizontal-Intensität (T) in Berlin und Potsdam.

A. *Bei der Sternwarte in Berlin.* Bestimmungen von Dr. G. Neumayer für Mitte April 1873. Beobachtungen am 11. Januar, 28. März und 18. Mai 1873. Die Reduktion wurde mit Hülfe der Münchener (Bogenhausen) Beobachtungen ausgeführt.

$D = 12° 26',33$ westl. $J = 66° 48',4$ nördl. $T = 0{,}18429$ *CGS*.

B. *Auf den Rehbergen bei Berlin.* Beobachtungen von Dr. G. Neumayer am 4. Februar 1874.

$D = 12° 17',09$ westl. (um $1^h.30$ p. m.) $J = 66° 58',50$ nördl. $T = 0{,}18228$ *CGS*.

Hieraus unter Benutzung von Lamont's Constante der säkularen Änderung ($-$ 7',79) für April 1873 berechnet:

$D = 12° 23',59$ westl.

C. *Auf dem Telegraphenberge bei Potsdam (heut Astrophysikalische Warte).* Beobachtungen von Dr. G. Neumayer.

1) Am 27. und 28. Mai 1874:

$D = 12° 23',95$ westl. (um $10^h\ 51^m$ a. m.) $T = 0{,}18385$ *CGS* (am 27. 9^h a. m.)

$T = 0{,}18343$ *CGS* (am 28. 9^h a. m.)

2) Ebenda am 15. Juli 1875, in dem auf Dr. Neumayer's Antrag erbauten magnetischen Häuschen.

$J = 66° 51',0$ nördl. $T = 0{,}18459$ *CGS* (3^h p. m.)

3) Ebenda am 4. November 1875:

$T = 0{,}18452$ *CGS* (2^h p. m.)

D. *Auf den Rehbergen bei Berlin,* Standort wie 1874. Beobachtungen von Dr. Duderstadt (Seewarte) am 1. Oktober 1887. (Reduktion auf Tagesmittel mit der Kew-Periode — $2^{hp}\ 15^m$ und $4^{hp}\ 30^m$ — für die Deklination.)

$D = 10° 48',9$ westl. $J = 66° 53',8$ nördl. ($4^h\ 40 - 5^h\ 25$ p. m.)

$T = 0{,}18518$ *CGS*. ($3^h\ 32'$ p. m.)

Die Mittelwerte der säkularen Änderung ergeben sich für die Epoche 1873—1887 wie folgt:

	in Berlin	in Hamburg[1])
für die westliche Deklination (abnehmend):	— 6',8	— 7',0
für die nördliche Inklination (abnehmend):	— 0',34 (?)	— 0',32 (?)
für die Horizontal-Intensität (zunehmend):	+ 0,00020 *CGS*.	+ 0,00016 *CGS*.

[1]) Für Hamburg war 1884,5: $D = 12° 46',2$ westl., $J = 67° 46'$ nördl.



Ausserdem sind mir durch Herrn Professor Müttrich in Eberswalde die folgenden Angaben zugegangen, die von Herrn Professor Förster mitgeteilt waren:

Im Jahre 1882 war für die Nachbarschaft von Berlin

$$D = 11°,18 - 0,1\, d\varphi° - 0,7\, d\lambda°,$$

wo $d\varphi$ den Unterschied der Breite (N positiv) und $d\lambda$ den Unterschied der Länge (O positiv) bedeutet. Die jährliche Abnahme ist 0°,11. Für Eberswalde war demzufolge im Jahre 1882: (wegen $d\varphi = 19'44'' = 0°,329$ und $d\lambda = 26' = 0°,434$)

$$D = 10° 51',0.$$

Diesen Angaben mögen die Mittelwerte der meteorologischen Elemente von Berlin (innere Stadt) nach den von Herrn Dr. Hellmann den Mitgliedern der deutschen meteorologischen Gesellschaft gemachten Mitteilungen folgen:

	Wahrer Luftdruck*)		Lufttemperatur**)	Absol. Feuchtigkeit	Relat. Feuchtigkeit	Bewölkung	Niederschlagshöhe	Tage mit		
	in 41,5 m	im Meeresniveau						messbarem Niederschlag	Schnee	Gewitter
	mm	mm	C°	mm	Proc.	0—10	mm			
Januar	759,0	763,0	— 0,5	3,9	84	7,4	38	14,8	6,7	0,02
Februar	58,2	62,1	1,2	4,1	80	7,0	39	13,2	6,0	0,07
März	56,5	60,4	3,5	4,5	75	6,3	42	14,8	6,7	0,12
April	57,0	60,8	8,4	5,3	69	5,7	39	12,4	1,3	0,92
Mai	57,5	61,2	13,2	7,1	64	5,4	51	12,3	0,1	2,10
Juni	57,8	61,5	17,5	9,6	66	5,7	69	13,6	.	3,50
Juli	57,4	61,1	19,0	10,7	67	5,5	74	14,0	.	3,62
August	57,5	61,2	18,1	10,6	69	5,6	59	13,8	.	2,72
September	58,7	62,4	14,9	8,8	73	5,3	40	12,1	.	0,92
Oktober	57,9	61,7	9,4	7,2	79	6,7	47	13,4	0,3	0,12
November	57,3	61,1	3,7	5,1	83	7,4	47	14,5	3,4	0,05
December	58,1	62,0	0,7	4,2	84	7,7	51	16,1	6,7	0,05
Jahr	759,7	761,5	9,1	6,6	74	6,3	596	165,0	31,2	14,20

*) Schwere-Correktion + 0,52 mm.

**) Ausserhalb der Stadt ist es durchschnittlich kälter: im Winter und Frühling um 0,6, im Sommer um 1,1, im Herbst um 1,0, im Jahre um 0,9° C.

Die höchste Temperatur war 37,0° C. am 20. Juli 1865, die niedrigste: — 25,0° C. am 22. Januar 1850. Die grösste Niederschlagsmenge an einem Tage war 67,0 mm (am 11. Juli 1858), die grösste Niederschlagsmenge in einer Stunde 31,5 mm (am 22. Juli 1886), dieselbe in einer Viertelstunde 16,5 mm am 6. Oktober 1883.

In einem der nächsten Hefte werden Angaben meteorologischer und magnetischer Werte für einige andere Orte folgen[2]).

Kleine Mitteilungen.

Eine Verwendung des Centrifugalpendels.

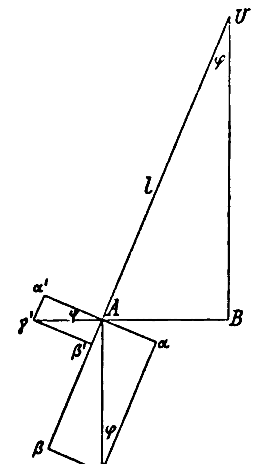
Von Prof. Dr. **O. Reichel** in Charlottenburg.

Die Prüfung des Gesetzes der Centrifugalkraft mittels der Schwungmaschine bezieht sich in der Regel nur darauf, dass jene proportional dem Radius ist, aber nicht auf die Proportionalität mit dem Quadrat der Umdrehungsgeschwindigkeit. Diese Lücke lässt sich mit Hülfe des Centrifugalpendels leicht ausfüllen. Die Formel für die halbe

[2]) Wünsche in dieser Beziehung wolle man an die Redaktion gelangen lassen.



Umlaufszeit T eines solchen Pendels wird bekanntlich wie folgt abgeleitet. Sei UA eine der Lagen des Pendels, B die Projektion von A auf die durch U gehende Vertikale, $\sphericalangle BUA = \varphi$, ferner $A\alpha$ und $A\beta$ die Componenten der Schwerkraft $A\gamma$, ebenso $A\alpha'$ und $A\beta'$ die Componenten der Centrifugalkraft $A\gamma'$, so folgt, da φ bei der Bewegung des Pendels seinen Wert nicht ändert, dass $A\alpha' = A\alpha$ sein muss. Es ist aber



$$A\alpha' = A\gamma' \cdot \cos\varphi = \frac{\pi^2 \cdot AB}{T^2} \cos\varphi = \frac{\pi^2 l \sin\varphi \cos\varphi}{T^2}.$$

Da ferner $A\alpha = g \sin\varphi$, so folgt

$$\frac{\pi^2 l \sin\varphi \cos\varphi}{T^2} = g \sin\varphi, \quad \text{oder}$$

$$T = \pi\sqrt{l/g} \cdot \sqrt{\cos\varphi}.$$

Bezeichnet T' die Schwingungsdauer eines eben so langen gewöhnlichen Pendels, so ist $T' = \pi\sqrt{l/g}$, also

$$T = T' \cdot \sqrt{\cos\varphi}.$$

Ist nun φ nur mässig gross, so ist $\sqrt{\cos\varphi}$ nahezu $= 1$ (z. B. für $\varphi < 15°$ ist $\sqrt{\cos\varphi} > 0{,}9828$), daher nahezu $T = T'$. Da diese Gleichung sich durch den Versuch bestätigen lässt, so ist damit auch die Richtigkeit der zu Grunde gelegten Formel für die Centrifugalkraft dargethan.

Man übe sich, eine Bleikugel an einem Faden, den man mit zwei Fingern hält, in horizontale Kreisbewegung zu versetzen und darin zu erhalten, dann im Takt, jeder halben Umdrehung entsprechend, zu zählen 1, 2, 1, 2, ..., sodann wenn man den Takt sicher hat, durch eine auf 1 auszuführende plötzliche Schwenkung des Aufhängepunktes das Centrifugalpendel in ein gewöhnliches zu verwandeln; zählt man dabei in dem nämlichen Takte weiter, so bemerkt man, dass auch das Pendel diesen Takt weiter inne hält. Bei grösseren Werten von φ hört natürlich die Übereinstimmung auf, wie es der Faktor $\sqrt{\cos\varphi}$ verlangt. Variiert man dagegen die Länge des Pendels, so bleibt der Erfolg immer der gleiche. Die Umlaufszeit ändert sich selbst dann nicht merklich, wenn die Bahn mehr oder weniger vom Kreise abweicht; daher ist der Einwand, dass eine genaue Kreisbahn auf die angegebene Weise schwer herzustellen sei, ohne Belang. Der Takt bleibt endlich auch der nämliche, ob man den Aufhängepunkt selbst im Kreise herumführt oder ob man ihn dann völlig still hält. Der Versuch hat den Vorzug, dass jeder Schüler ihn mit Leichtigkeit selber wiederholen kann.

[Denselben Versuch benutzt Fr. C. G. Müller in der Programmabhandlung *„Neue Apparate und Versuche für den physikalischen Unterricht“* (*Brandenburg a. H., 1887*), um zu zeigen, dass die Formel $T = \pi\sqrt{l/g}$ nicht bloss für das Centrifugalpendel, sondern auch für das gewöhnliche Pendel gültig ist. Der Verf. nimmt noch als zweiten Versuch hinzu, dass beim gewöhnlichen Pendel die Schwingungsdauer auch innerhalb grösserer Ausschläge die nämliche ist wie bei kleineren, und findet so die Pendelformel in ihrem vollen Umfange bestätigt. Auf diese Weise kann also eine direkte elementarmathematische Ableitung der Pendelformel umgangen werden. Der Verfasser weist überdies darauf hin, dass Versuche mit Centrifugalpendeln allein, also auch ohne den Vergleich mit dem gewöhnlichen Pendel, hinreichen, um die Richtigkeit der Schwungkraftformel indirekt zu bestätigen. Bei der Gelegenheit wird auch das folgende lehrreiche Experiment beschrieben: Nach dem Satz vom Parallelogramm der Kräfte muss beim Centrifugalpendel die Fadenspannung grösser als das Gewicht der Pendelkugel sein. Um dies nachzuweisen, befestigt man zwei Rollen in einiger Entfernung so an den Balken eines Stativs, dass sie sich in der nämlichen Ebene drehen und führt über dieselben einen Faden, welcher beiderseits durch

gleiche Gewichte gespannt ist. Setzt man nun das eine Gewicht so in Bewegung, dass es ein Centrifugalpendel von nicht zu kleiner Amplitude wird, so sinkt es, selbst wenn man zu dem Gegengewicht noch einige Gramme zulegt. Ein ähnlicher Erfolg tritt auch ein, wenn das eine Gewicht als gewöhnliches Pendel in einer Ebene schwingt, nur dass die Kraft ruckweise wirkt, und zwar dann, wenn das Pendel sich der Stellung seines grössten Ausschlags nähert. Diese Versuche lassen sich sehr bequem an einer Atwood'schen Fallmaschine ausführen. *P.*]

Neue Versuche über den Stoss.

Von Prof. **A. Handl** in Czernowitz.

Bei Schulversuchen über den Stoss zeigt man wohl meist den geraden Stoss zwischen gleichen oder ungleichen Kugeln und den schiefen Stoss einer elastischen Kugel gegen eine unbewegliche Wand. Die folgenden, leicht herzustellenden Vorrichtungen gestatten eine nicht überflüssige Vermehrung der Versuche.

An einem Gestelle ist ein würfelförmiger Holzblock von ungefähr 10 cm Seitenlänge an zwei 5—8 mm von einander abstehenden parallelen Fäden aufgehängt. Richtiger wäre wohl die Aufhängung an nur einem Faden, damit die Drehung des Blockes um seine lotrechte Achse mit möglichst geringem Widerstande möglich sei. Aber auch die bifilare Aufhängung lässt die bei excentrischen und schiefen Stössen erregten Drehungen noch ganz gut zustande kommen, und bei der Aufhängung an einem Faden hat man es nicht in seiner Gewalt, der Vorderfläche des Blockes eine bestimmte Richtung zu geben, was für die Versuche notwendig ist. Zu diesem Zwecke sind die oberen Enden der Fäden an einer kleinen um ihren Mittelpunkt drehbaren Scheibe aufgehängt, so dass der Block mit seiner Vorderseite beliebig gestellt werden kann.

Neben (vor) diesem Blocke ist in der üblichen Weise, nämlich an zwei divergierenden Fäden, eine Bleikugel von ungefähr 38 mm Durchmesser (325 gr schwer) aufgehängt, so dass sie nur in einer bestimmten Ebene Pendelschwingungen ausführen, bezw. einen Stoss ausüben kann. Die oberen Enden der Fäden sind an einer Holzleiste befestigt, welche sich in einer Schlittenführung verschieben lässt, und zwar so, dass die Richtung der Verschiebung mit der Ebene der beiden Fäden zusammenfällt, also senkrecht gegen die Schwingungsebene der Bleikugel ist. Man kann nun folgende Versuche ausführen: die Vorderfläche des Holzblockes steht senkrecht gegen die Stossrichtung der Kugel, der Stoss ist ein gerader. — Die Vorderfläche des Blockes wird um einen beliebigen Winkel gedreht, der Stoss ist ein schiefer. — Durch Verschiebung der Bleikugel wieder kann der Stoss gegen verschiedene Punkte der gestossenen Fläche gerichtet, er kann nach Belieben zu einem centralen oder einem mehr oder weniger excentrischen gemacht werden.

Die Mannigfaltigkeit der Versuche kann noch erhöht werden, wenn man die Bleikugel durch eine Holz- (oder Elfenbein-) Kugel von grösserer Elastizität ersetzt, und wenn man endlich noch an Stelle des Holzblockes eine an einem einzigen Faden aufgehängte Kugel verwendet. Auf der letzteren müssen einige Meridianlinien mit weithin sichtbarer Farbe aufgetragen werden, damit man die vorkommenden Drehungen gut sehen kann.

Ein einfacher Versuch über die Spannkraft der Dämpfe.

Von Prof. **Dr. B. Schwalbe** in Berlin.

Um die grosse Spannkraft des Dampfes einer leicht verdunstenden Flüssigkeit bei Gegenwart einer schwerer flüchtigen im lufterfüllten Raume und bei gewöhnlicher Temperatur zu zeigen, kann man sich eines sehr einfachen Apparats bedienen. Ein Stehkolben von ungefähr $^3/_4$ l Inhalt wird mit doppelt durchbohrtem Gummipfropfen geschlossen; durch die eine Durchbohrung geht ein langes Glasrohr (1—$1^1/_2$ m) bis auf den Boden,

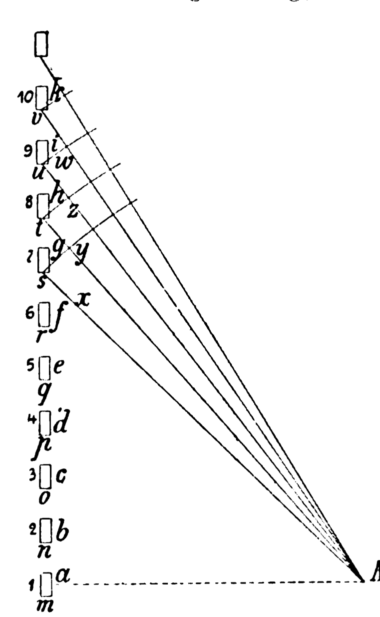
durch die andere Durchbohrung ein stumpfwinklig nach oben gebogenes Rohr, das nur bis unter den Pfropfen hineinragt. An diesem Rohre ist seitlich durch einen Gummischlauch mit Quetschhahn ein kleiner Trichter befestigt. In dem Stehkolben befindet sich gefärbtes Wasser. Giesst man nun Äther in den Trichter und lässt durch vorsichtiges Öffnen des Quetschhahnes einige Tropfen Äther in das Wasser des Stehkolbens fallen, so steigt dasselbe plötzlich bis zur Mündung des hohen Rohres, und es zeigt sich so die Vermehrung der Spannkraft in augenscheinlicher Weise. Nimmt man ein etwas kürzeres Rohr, das zu einer Spitze nach oben ausgezogen ist, so erhält man einen Springbrunnen, das Wasser wird oft bis an die Decke geschleudert. Es lässt sich auch der viel geringere Zuwachs beim Eintropfen von Alkohol zeigen; und zwar tritt hier deutlich hervor, dass bei Anwachsen des Alkoholgehaltes auch die Spannkraft wächst (wie die Untersuchungen von Dronke ergeben hatten), wenn auch nicht entsprechend der zugesetzten Menge Alkohol. Dass der Apparat auch zu Demonstrationen mit Dampfspannungen anderer Flüssigkeiten dienen kann, liegt auf der Hand.

Das tönende Echo.

Von Dr. **R. von Fischer-Benzon** in Kiel.

Die nachstehende Mitteilung ist das Resultat von im Sommer 1871 angestellten Beobachtungen. Ich nahm damals von der Veröffentlichung einer von J. C. Poggendorff schon zum Druck bestimmten Abhandlung abstand, weil ich erfuhr, dass bereits 1855 J. J. Oppel, Gymnasiallehrer in Frankfurt a. M., dieselbe Erscheinung untersucht und beschrieben habe (Beobachtungen über eine neue Entstehungsweise des Tons und Versuch einer Theorie derselben, *Pogg. Ann.* **94**, *357—398, 530—572*). Die Erscheinung, um die es sich handelt, ist inzwischen kaum bekannter geworden, und wird auch in den mir zugänglichen Lehrbüchern der Physik nicht berücksichtigt; ich übergebe daher meine Beobachtungen der Öffentlichkeit, um dadurch vielleicht die Aufmerksamkeit weiterer Kreise auf die Erscheinung und auf die verdienstvolle Arbeit Oppel's hinzulenken.

Geht man in einiger Entfernung an einem gewöhnlichen hölzernen Gitter vorüber, und ist der Weg derartig, dass das Geräusch der Schritte deutlich ist, so hört man unmittelbar nach jedem Schritte einen ziemlich hohen, eigentümlich pfeifenden, sehr rasch verklingenden Ton. Derselbe erscheint bei genauerem Hinhören weder von gleichbleibender Höhe noch Intensität. Die Intensität wächst rasch und nimmt dann wieder langsamer ab; die Höhe scheint allmählich abzunehmen. Die Dauer des Tones ist ausserordentlich kurz und seine Intensität ist so gering, dass derselbe bei dem gewöhnlichen Strassengeräusche einer Stadt leicht unbeachtet bleibt. Begiebt man sich an weniger besuchte Plätze, namentlich in der Nacht, und stellt sich in der Nähe eines Gitterwerks auf, so genügt ein Tritt auf den Kiesgrund des Weges oder auf einen Stein, um den eigentümlichen Ton deutlich erklingen zu lassen; er hat dann einige Ähnlichkeit mit dem Pfeifen eines Sperlings. Ich halte den Ton für einen Sirenenton und denke mir seine Entstehung folgendermaassen:



Einer Reihe von vierkantigen Gitterstäben gegenüber werde an einer Stelle A eine Erschütterungswelle erregt, die sich successive bis an immer entfernter gelegene Gitterstäbe 1, 2, 3, 4 . . . fortpflanzt. Die Reflexion der Welle kann sowohl an den Vorderflächen $a, b, c, d, \ldots\ldots$ der Gitterstäbe, als auch an den Seitenflächen $m, n, o, p, \ldots\ldots$

erfolgen; aber der nach A reflektierte Schall wird um so schwächer, je spitzer der Winkel ist, unter dem die Welle die Fläche trifft. An den Vorderflächen a, b, c, d, ... wird der Schall merklich nur von den ersten Stäben reflektiert werden. Umgekehrt stellt es sich mit den Seitenflächen m, n, o, p .....; hier trifft die Welle die ersten Flächen unter sehr spitzem Winkel, der Winkel wächst aber rasch und nähert sich 90° immer mehr. Von den weiter entfernten Gitterstäben wird daher der Schall an den Flächen s, t, u, v, ... merklich reflektiert. Es kommen also in A nacheinander reflektierte Wellen an, deren Wegunterschied δ respektive 2 ty, 2 uz u. s. w. beträgt. Sind ty, uz, vw, ... unter einander gleich, so muss ein bei A befindliches Ohr einen Ton hören. Die Höhe dieses Tones ergiebt sich, indem man die Schallgeschwindigkeit c durch den Wegunterschied δ dividiert; es ist dann c/δ gleich der Anzahl Doppelschwingungen des Tones. Ähnliche Betrachtungen würden für die in a, b, c, ... reflektierte Welle gelten. Hier sind aber, so lange noch eine merkliche Reflexion stattfindet, die Wegdifferenzen zu klein, als dass ein hörbarer Ton entstehen könnte.

Die Strecken ty, uz, vw, ... sind nun freilich nicht genau gleich. Sie wachsen zuerst ziemlich rasch und nähern sich dann ganz allmählich einem Maximum: der Entfernung zweier reflektierenden Flächen von einander. Der entstehende Sirenenton muss also an Höhe abnehmen. Bei grösserer Entfernung der Gitterstäbe von der Schallquelle wird aber auch die reflektierende Fläche immer kleiner, sie wird durch den vorhergehenden Stab immer mehr verdeckt; hiedurch und durch den immer längeren Weg, den die Welle zurücklegen muss, erklärt sich die Abnahme der Intensität des Tones.

Die eben angestellten Überlegungen fanden durch Versuche, die ich mit einem Freunde in Kiel vornahm, volle Bestätigung. Wir wählten eine etwas entlegene Strasse, in der sich 2 Gitter von verschiedenen Dimensionen befanden und begannen unsere Beobachtungen abends 10^h, nachdem das Geräusch in den benachbarten Strassen ziemlich verstummt war. Der Schall wurde durch Anschlagen mit einem Hammer an eine Bretterwand, 11,3 m von dem Gitter entfernt, hervorgerufen. An dem Gitter I waren die reflektierenden Flächen der Stäbe 0,13 m, am Gitter II 0,14 m von einander entfernt. Bei beiden Gittern zeigte sich der Sirenenton scharf und deutlich, bei dem 2. Gitter deutlich tiefer. Eine sorgfältige Vergleichung des Tones mit dem einer kleinen hölzernen Pfeife von König, mit dem er auch in der Klangfarbe Ähnlichkeit hatte, namentlich bei nicht zu starkem Anblasen, ergab für das 1. Gitter a''', für das zweite gis'''. Die Wellenlänge von a''' ist nahe 10 cm, die von gis''' 10,6 cm. Ich habe nun die Berechnung der vorher bezeichneten halben Wegunterschiede für beide Gitter durchgeführt, und zwar erst von der Stelle an, wo die Welle unter einem Winkel von 45° auf die Seite des Gitterstabes trifft.

	Gitter I.			Gitter II.	
9,2	9,7	10,0	10,0	10,4	10,8
9,3	9,7	10,0	10,0	10,5	10,9
9,3	9,7	10,1	10,0	10,5	11,0
9,4	9,8	10,1	10,1	10,6	11,0
9,4	9,8	10,2	10,2	10,6	11,0
9,5	9,9	10,2	10,2	10,7	11,1
9,5	9,9	10,2	10,3	10,7	11,1
9,6	10,0	10,2	10,3	10,7	11,1
9,6	10,0	10,3	10,4	10,8	11,2

Für beide Gitter giebt es also 6—8 Wegdifferenzen, die entweder gleich der Wellenlänge des beobachteten Tones oder doch nicht wesentlich von ihr verschieden sind. Hört man dabei den Ton deutlich und ist meine Annahme über die Entstehung desselben richtig, so würde daraus folgen, dass unser Ohr im Stande ist, einen Ton deutlich als solchen aufzufassen, der eine Dauer von nur etwa 0,005 bis 0,003 Sekunden hat. — Noch an mehreren andern Gittern wurde die Höhe des Sirenentons bestimmt;



stets nahm die Tonhöhe zu, wenn sich die Entfernung der Gitterstäbe verringerte und umgekehrt. Ähnliche Töne wie bei solchen Gittern hört man auch, wenn man auf einem See vor einer Schilfwand in die Hände klatscht oder auf den Rand des Bootes klopft; der hier entstehende Ton scheint mir noch höher zu sein, als der an Gittern beobachtete. Auch mag hierher der eigentümliche Ton gehören, den man auf der Freitreppe der Regensburger Walhalla hört.

Verzögerung der (drehenden) Bewegung einer Kupferscheibe durch einen Magnet.

Von Prof. Dr. **G. Krebs** in Frankfurt a. M.

Schon seit längerer Zeit bediene ich mich, um die Verzögerung der (drehenden) Bewegung einer Kupferscheibe durch einen Magnet zu zeigen, folgenden einfachen Apparates: Auf die Achse eines durch ein Uhrwerk getriebenen Sirenapparates von Seebeck setze man, statt einer gelochten Scheibe, eine dünne Kupferscheibe von ca. 20 cm Durchmesser, welche leicht genug ist, um durch das Uhrwerk umgetrieben zu werden. Um die Geschwindigkeit der Drehung der Scheibe beurteilen zu können, klebe man an einer Stelle dicht am Rande ein kreisförmiges Papierblättchen von 1 cm Durchmesser an. Ferner ist auf einem einfachen Gestell ein hufeisenförmiger Elektromagnet so angebracht, dass seine Schenkel in eine Horizontalebene fallen. Es genügt eine Schenkellänge von 8 cm bei einem Schenkeldurchmesser von 1 cm. Die Schenkel sind mit 2—3 Lagen dicken, übersponnenen Drahtes umwickelt und stehen um 1—1 $^{1}/_{2}$ cm voneinander ab; ausserdem tragen sie Polschuhe, von denen der eine fest und der andere mittels einer Schraube verschiebbar ist, damit man die Polschuhe einander beliebig nähern kann. Selbstverständlich muss der Elektromagnet höher und tiefer gestellt werden können. Man rückt nun den Elektromagnet so an die Scheibe heran, dass deren Rand zwischen die Polschuhe fällt, welche so nahe als möglich an die Scheibe geschoben werden.

Hierauf setzt man das Uhrwerk in Gang, und wenn die Scheibe eine genügende Geschwindigkeit erlangt hat, lässt man den Strom eines Bunsen'schen Elements in die Windungen fliessen. Sofort verlangsamt sich die Bewegung, und zwar gewöhnlich so weit, dass die Scheibe zum Stillstand kommt.

Umsetzung von mechanischer Arbeit (Drehung) in Elektricität und Rückverwandlung.

Von Prof. Dr. **G. Krebs** in Frankfurt a. M.

Auf ein Holzbrett ist ein ca. 20 cm langer und 3 cm breiter Multiplikatorrahmen montiert. Den Widerstand der Windungen macht man zweckmässig so gross, wie den der Windungen eines im Kabinet vorhandenen Galvanometers (mit Multiplikator). Mitten durch den Multiplikatorrahmen geht eine kurze vertikale Achse, an der ein Magnetstab von ca. 18 cm Länge und 2 cm Breite im Innern des Rahmens befestigt werden kann. Die Klemmen des Multiplikatorrahmens verbindet man mittels längerer Drähte mit denen eines Galvanometers; die Drähte wählt man lang, damit der Magnet nicht direkt auf die Galvanometernadel wirken kann. Vor der Verbindung der beiden Apparate durch die Drähte stellt man den Magnetstab durch Drehen an dem aus dem Rahmen hervorragenden Ende der Achse so, dass er senkrecht zu den Windungen steht. Lässt man nun den Magnetstab eine halbe Umdrehung machen, so schlägt die Nadel des Galvanometers aus; dreht man, nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen, abermals um 180°, so schlägt jetzt die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus.

Lässt man den Magnetstab rasch rotieren, so zittert die Nadel um die Nulllage rasch, aber mit unbedeutendem Ausschlag hin und her.

Hat der Apparat längere Zeit unbenutzt gestanden, so muss der Magnetstab frisch magnetisiert werden.



Berichte.

1. Apparate und Versuche.

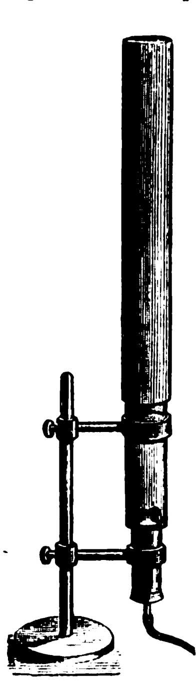
Das Thermobaroskop als Messinstrument und Demonstrationsapparat. Schon vor längerer Zeit ist von H. Emsmann *(Ztschr. z. Förd. d. phys. Unterr. 1884, S. 49)* auf die Brauchbarkeit des Galilei'schen (fälschlich nach Drebbel genannten) Thermoskops für den Unterricht hingewiesen worden. Eine sinnreiche Verbesserung des Instruments, welche es als Messinstrument brauchbar macht, wird von A. Steinhauser im *Rep. d. Phys. XXIV, 412 (1887)* beschrieben. Denkt man sich ein Luftthermometer, aus Gefäss und Röhre bestehend, horizontal gelegt und als Index einen Quecksilberfaden in der am Ende offenen Röhre angebracht, so werden bekanntlich bei gleicher Temperatur die Angaben je nach dem herrschenden Barometerstand verschieden ausfallen. Dieser Einfluss des Barometerstandes kann aber dadurch compensiert werden, dass man das Luftthermometer um eine horizontale Achse so lange dreht, bis das Gewicht des Quecksilberfadens in der Röhre, je nach der Richtung der Drehung in positivem oder negativem Sinne wirkend, der Änderung des Luftdruckes entgegengesetzt gleich wird. Es bedarf dazu eines Quecksilberfadens von 35 mm Länge, da die vorkommenden Abweichungen vom barometrischen Mittel diesen Betrag nicht überschreiten. Die Barometerstandsskala wird auf einem Kreisbogen angebracht, dessen Teilung sich leicht berechnen lässt; die Teilung ist für Orte mit verschiedenem barometrischen Mittel dieselbe, wenn nur die Indexlänge von 35 mm die gleiche bleibt. Die Röhre selber wird mit einer Temperaturskala versehen, die die wirkliche Temperatur bei horizontaler Lage und bei dem barometrischen Mittel angiebt. Man kann das Instrument entweder als Thermometer brauchen, indem man ihm die Neigung giebt, welche dem herrschenden (auf 0° reduzierten) Barometerstande entspricht, oder als Barometer, wenn man es so neigt, dass die an der Skala abgelesene Temperatur der herrschenden gleich wird. Eine eingehendere Untersuchung der Genauigkeit, welche der Apparat gestattet, zeigt, dass für die Verwendung als Barometer sehr genaue Temperaturablesungen vorausgesetzt werden müssen; dennoch empfiehlt es sich für die Anwendung in der Praxis durch Billigkeit, leichte Transportierbarkeit bei arretiertem Index, und durch direkte Ablesung ohne Correktur oder Reduktion. Dagegen zeichnet sich das Instrument, als Thermometer gebraucht, durch seine grosse Empfindlichkeit und durch die grosse Genauigkeit der Ablesung infolge der grossen Grade vor gewöhnlichen Thermometern aus. Es ist als instruktives Demonstrationsinstrument für den physikalischen Unterricht geeignet, während seine praktische Verwendung durch die Notwendigkeit, es auf den herrschenden Luftdruck einzustellen, beeinträchtigt wird.

Veranschaulichung der Erdabplattung. An Stelle des gebräuchlichen Kugelgerippes aus Messing- oder Stahlstreifen empfiehlt Demichel *(Journ. de phys. élem. 1887 No. 5)* einen kugelförmigen Kautschukballon, der mit Wasser gefüllt und auf die Schwungmaschine gesetzt wird. Zu diesem Zwecke ist eine Röhre durch den Ballon hindurchgeführt, welche als Achse dient und zugleich die Einfüllung des Wassers ermöglicht. Die Abplattung kann mit wachsender Rotationsgeschwindigkeit sehr beträchtlich werden. Das Paradoxon, dass trotz der Änderung der Kugelgestalt und der damit verbundenen Volumverminderung kein Wasser austritt, findet durch die Ausdehnung der elastischen Kautschukwand ihre Erklärung.

Ein Versuch über Lichtemission glühender Körper. Ferd. Braun teilt in den *Gött. Nachr. 1887, 465* folgenden Versuch zur Erläuterung des Kirchhoff'schen Gesetzes der Absorption und Emission mit. Man bedecke eine kleine Stelle, etwa einige qcm, eines Porzellangegenstandes mit der schwarzen Farbe der Porzellanmaler und erhitze ihn in einer allseitig, bis auf ein röhrenförmiges Schauloch, geschlossenen Muffel, so beobachtet man, dass das Porzellan mit beginnender Rotglut zu leuchten beginnt, während der Fleck sich davon noch dunkel abhebt. Mit steigender Temperatur (etwa 800°) verschwindet der Fleck scheinbar gänzlich, wird aber noch schwarz auf hellem Grunde sichtbar, wenn

man einen brennenden Span oder eine Gasflamme in die Muffel einführt. Bei noch höherer Temperatur (1000—1100°), eilt die Lichtemission des Fleckes der des Porzellans voraus, er erscheint weiss strahlend auf hellrosenrotem Grunde. Die Erscheinung erklärt sich daraus, dass die Farbe ein grösseres Absorptionsvermögen für die leuchtenden Strahlen hat, als das (schon bei gewöhnlicher Temperatur durchscheinende) Porzellan. In demselben Maasse wie die leuchtenden Strahlen im Glühlicht an Intensität gewinnen, steigert sich daher auch die Lichtemission des Fleckes im Vergleich zu der des Porzellans. Für einen Vorlesungsversuch empfiehlt Braun, einen grösseren, innen bemalten Porzellantiegel in der Bunsenflamme, unter Verdunkelung des Zimmers zu erhitzen, doch tritt die Erscheinung dann weniger deutlich hervor. Dagegen strahlt ein Goldfleck bei ca. 800° ein intensiv grünes Licht aus, welches bei abnehmender Temperatur in tiefes Dunkelblau übergeht, Farben, welche lebhaft an die Durchlassfarben dünner Goldschichten erinnern. Platin leuchtet beim Abkühlen lange intensiver als Porzellan, das Licht verschwindet zuletzt mit schwachem Rot, wie bei andern festen undurchsichtigen Körpern; der Vergleich mit dem Golde zeigt deutlich, dass diesem eine specifische Emission für gewisse Strahlengattungen zukommt.

Spiralförmige Wirbel in Flammen. Schon vor einigen Jahren hatte W. Holtz einen Versuch beschrieben, wie man mittelst zweier gegen einander gerichteten Gasflammen eigentümliche spiralförmige Wirbel erzeugen könne. Es ist ihm inzwischen gelungen, ganz ähnliche Erscheinungen in einer einzigen Flamme mittelst des von ihr selbst erzeugten Luftstromes zu gewinnen (*Nachr. v. d. K. Ges. d. W. zu Göttingen 1886 No. 18.)* Ein 10 cm langes, 2—3 cm weites Rohr, am besten von Metall, senkrecht an dem einen Arme eines Stativs befestigt, ist unten durch einen Stöpsel verschlossen. In der Mitte des Stöpsels und mit seiner oberen Fläche abschneidend sitzt ein kurzes enges Rohr, das durch einen Gummischlauch mit der Gasleitung verbunden ist. Das in dem weiten Rohre langsam aufsteigende Gas wird oben angezündet und der Zufluss so geregelt, dass eine niedrige, bläuliche Flamme entsteht. Hiernach wird ein möglichst langes, 3—4 cm weites Glasrohr, oder ein kürzerer Glascylinder, welcher durch ein Papprohr verlängert ist, an dem zweiten Arme desselben Statives so befestigt, das es das untere Rohr auf eine Länge von 5—8 mm umfasst. Sofort brennt die Flamme hell und zeigt spiralförmige Wirbel, indem sie an der einen Seite des Rohres aufsteigend ihre Spitze nach innen und zugleich niederwärts biegt. Der Grund ist natürlich, dass wegen des starken Luftstromes an der Peripherie des Metallrohrs in seinem Centrum eine Verdünnung entsteht. Damit der Luftstrom stark genug sei, muss das obere Rohr möglichst lang sein. Je kürzer es ist, um so mehr muss man den Gaszufluss hemmen, damit sich überhaupt die Erscheinung zeigt. Bei ganz kurzen Rohren kommt sie gar nicht zustande, weil bei sehr langsamem Zufluss die Flamme eher erlischt.



Die Wirbel können sich sehr verschiedenartig gestalten, je nachdem man den Gaszufluss ändert oder das obere Rohr etwas höher oder tiefer stellt, und die Erscheinung ist in ihrem Formwechsel so fesselnd, dass man sie lange ohne zu ermüden betrachten kann. Immer jedoch steigt die Flamme vorzugsweise an einer Seite auf, so dass die Axe des Wirbels gradlinig oder halbkreisförmig wird, nie an allen Seiten zugleich, so dass ein Wirbel mit vollkommen kreisförmiger Axe entstände. Der Grund ist wohl, dass ein Glasrohr nie ganz rund ist, und dass es nebenbei fast unmöglich ist, beide Rohre genau concentrisch zu stellen. (*Mitget. v. Verf.*)

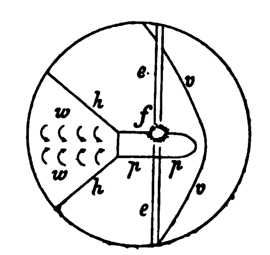
Eine galvanische Wasserbatterie. Henry A. Rowland beschreibt (*Amer. Journ. of Science, (3) XXXIII, No. 194, 1887*) eine Wasserbatterie, die sich als einfach, billig

und brauchbar erwiesen hat. Zink- und Kupferstreifen von 2″ (etwa 5 cm) Breite werden mit den Längskanten zusammengelötet, so dass sie einen combinierten Streifen von etwas weniger als 4″ Breite bilden. Jeder solche Streifen wird dann in Stücke geschnitten, die $^1/_4$″ breit sind und halb aus Zn, halb aus Cu bestehen; jedes dieser Stücke wird U-förmig umgebogen, so dass die Aeste nur etwa $^1/_4$″ von einander entfernt sind. Darauf wird eine dicke Glasplatte erwärmt und mit einer Schellackschicht von $^1/_8$″ Dicke überzogen; in diese werden die Streifenpaare mit den Löthstellen reihenweise eingesetzt, so dass ein Zinkstreifen von dem Kupferstreifen des folgenden Elementes um etwa $^1/_{16}$″ entfernt ist. Auf diese Weise können auf einer Platte von 10″ im Quadrat gegen 800 Streifenpaare angebracht werden. Die Platte wird nunmehr vorsichtig erwärmt und bis zu einer Höhe von $^1/_2$″ mit einer Mischung von Wachs und Harz, die leichter als Schellack schmilzt, übergossen, um die Elemente zu befestigen. Endlich wird die Platte in einen Holzrahmen gefasst und mit einem Ring zum Aufhängen versehen. Für den Gebrauch wird die Vorrichtung mit den Spitzen der Elemente in Wasser getaucht und dann wieder aufgehängt; in den Zwischenräumen von je $^1/_{16}$″ bleiben dabei Wassertropfen hängen, die sich etwa eine Stunde lang erhalten und die Batterie vervollständigen.

---

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Momentphotographie von bewegten Luftmassen. Wenn ein Projektil an irgend einer Stelle seiner Flugbahn einen elektrischen Funken auslöst, so kann es bei dessen Licht im dunkeln Zimmer photographiert werden. Scharfe Bilder der Art wurden von Mach und Wentzel bereits 1884 hergestellt. Auch Momentbilder von Schallwellen in der Luft wurden bereits damals gewonnen; dagegen ist die Abbildung der Luftverdichtung, welche ein fliegendes Projektil erzeugt, erst kürzlich gelungen. Die Versuche sind nach Mach's Angaben von Salcher und Riegler in Fiume ausgeführt und von Mach und Salcher beschrieben worden (*Ber. d. Wien. Ak., 21. April 1887; Wied. Ann. 32, 277).* Benutzt wurden Gewehre, deren Projektile Geschwindigkeiten von 440 bis 530 m erreichten, da sich herausgestellt hatte, dass nur bei solchen Geschwindigkeiten, welche die des Schalles übersteigen, eine deutliche Verdichtung auftritt. Eine Leydener Flasche war in ihrem Schliessungsbogen mit zwei Unterbrechungen versehen; wurde die eine derselben durch das Projektil momentan geschlossen, so trat sowohl an dieser wie auch an der zweiten Stelle ein Schliessungsfunken auf; das Licht dieses zweiten Funkens diente dazu, die erste Funkenstelle samt dem hindurchfliegenden Projektil zu beleuchten. Stellte man zwischen diese Funkenstelle und den photographischen Apparat eine Linse, so erschien diese in der Photographie als ein helles Feld, von welchem sich das Projektil dunkel abhob. In der beistehenden schematischen Figur bezeichnet *p* das Geschoss, *ee* die Elektroden, *f* den elektrischen Funken. Um auch die vor dem Projektil verdichtete Luft sichtbar zu machen, wurde die Schlierenmethode angewendet, deren Anfänge bei Huygens (De formandis vitris) zu finden sind, und deren Vervollkommnung Foucault (1878) und Toepler (1864) verdankt wird. Bekanntlich wird die erhitzte Luft über einer Wärmequelle sichtbar durch das scheinbare Zittern der dahinter befindlichen Gegenstände, ebenso der Schatten einer Kerzenflamme im Sonnenlicht durch die wechselnde kleine Lichtablenkung in den heissen Gasen. Soll nun die Luftverdichtung vor dem Projektil sichtbar gemacht werden, so fasst man das Funkenbild scharf mit dem Rande einer Blendung ab, so dass das Gesichtsfeld des photographischen Apparats oben dunkel erscheint. Allein am Rande des Projektils wird das Licht gebeugt, geht teilweise neben der Blendung vorbei und liefert ein Bild des Projektils. Befindet sich vor dem Projektil verdichtete Luft, so verstärkt diese an der betreffenden Stelle die Brechung durch die Linse, ein Teil des Lichtes gelangt neben der Blendung vorbei in das Objektiv der photographischen Kammer und bildet die Grenze der Luftverdichtung



ab. Diese Grenze v ist einem das Projektil umgebenden Hyperbelast ähnlich, dessen Scheitel vor dem Kopf des Projektils und dessen Axe in der Flugbahn liegt. Ähnliche aber gradlinige Grenzstreifen *(h)* gehen von dem hinteren Ende des Geschosses divergierend nach rückwärts. Die erste Begrenzung entspricht der Bugwelle eines Dampfschiffes, die zweite der Achterwelle. Bei der grössten bisher angewendeten Geschwindigkeit endlich erschien der Schusskanal hinter dem Projektil mit Wölkchen erfüllt, die als Luftwirbel aufzufassen sind. Ihr Sichtbarwerden bei der Schlierenmethode wird daraus erklärt, dass die Luft beim Einströmen in den Schusskanal sich erwärmt und daher ihre Dichte ändert. Der Zusammenhang der ganzen Erscheinung mit der Theorie der Schallwellen ist in der Abhandlung selbst eingehender erörtert.

Optische Darstellung der Vorgänge im Telephon. Von O. Fröhlich ist in der *Elektrotechn. Ztschr. 1887, V, 210* eine Reihe von Versuchen angegeben worden, durch welche die Bewegungen der Telephon-Membran nachgewiesen und die Eigentümlichkeiten dieser Bewegungen experimentell untersucht werden können. Die Schwingungen einer durch Singen oder Sprechen erregten Telephon-Membran erzeugen beim Bestreuen mit Lycopodiumsamen keine Spur von Klangfiguren. Klebt man aber ein Spiegelchen s (Fig. 1) auf die Telephon-Membran zwischen Rand und Mitte, so giebt ein hiervon reflektierter Lichtstrahl auf einem entfernten Schirm S schwache Bewegungen des von ihm hervorgerufenen Lichtbildes zu erkennen. Genauere Messungen mit Hülfe von Fernrohr und Skala haben ergeben, dass die Bewegung der Mitte der Telephon-Membran etwa 0,035 mm beträgt.

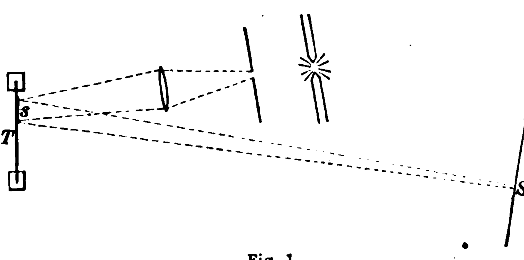
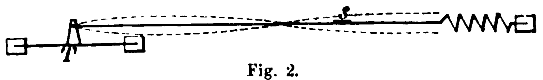


Fig. 1.

Viel deutlicher wird der Nachweis, wenn man nach Melde's Prinzip mit der Membran einen Eisendraht (von etwa 40 cm Länge und 0,6 mm Dicke) verbindet (Fig. 2) und diesen durch eine Spiralfeder spannt; leitet man in das Telephon die Ströme einer elektrisch erregten Stimmgabel, so wird bei einer gewissen Spannung der Feder der Draht in deutlich sichtbare Schwingungen von etwa 5 mm Amplitude versetzt. Befestigt man aber zwischen Knoten und Bauch des schwingenden Drahtes ein leichtes Spiegelchen s und lässt von diesem einen Lichtstrahl reflektieren, so kann man selbst die Membranschwingungen sichtbar machen, die durch Hineinsingen in ein Mikrophon hervorgebracht werden; man erhält auf dem Schirm starke Bewegungen des Lichtbildes, die bis 50 cm betragen.


Fig. 2.

Endlich werden auch die tanzenden Flammen von König zur direkten Darstellung der Membranschwingungen benutzt. Zu diesem Zwecke wird auf die Mitte der Telephon-Membran (Fig. 3) ein Stück Kork gesetzt, welches oben rundlich abgefeilt ist und in eine darüber angebrachte Höhlung aus Messing passt. Spannt man über diese Höhlung eine möglichst dünne Haut aus Gummi oder Fischblase, so kann man die Vorrichtung mit Hülfe einer Mikrometerschraube so einstellen, dass die Haut fast ganz an die messingene Wand angedrückt und daher der zwischen Haut und Messingwand liegende Hohlraum sehr verengt wird. Hierdurch wird es möglich, auch bei der schwachen Bewegung der Telephon-Membran ein deutliches Tanzen der Flamme, welche durch das die

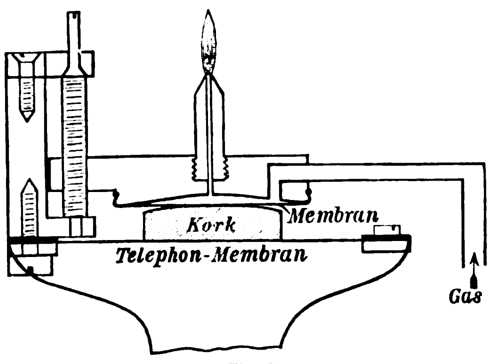


Fig. 3.

Kapsel durchströmende Gas gespeist wird, zu erhalten; die auf diese Weise in einem rotierenden Spiegel sichtbar gemachten Flammenformen sind ebenso deutlich und scharf ausgeprägt, wie bei den Versuchen von König. Vergleicht man die so erhaltenen Flammenbilder mit denjenigen, welche von denselben Tönen ohne Vermittlung des Telephons hervorgebracht werden, so stellen sich erhebliche Unterschiede heraus, in der Regel in dem Sinne, dass die Schwingungen der Telephon-Membran mehr Zacken haben und also kompliziertere Schwingungsformen darstellen, als die einer direkt durch den Ton beeinflussten Flammenkapsel. Ähnliches zeigt sich auch, wenn man die Lissajous'schen Figuren erst mit zwei Stimmgabeln erzeugt und dann die eine von ihnen durch eine von ihr erregte Telephon-Membran mit Spiegelvorrichtung ersetzt; die Figuren erscheinen nun compliziert und verzerrt und deuten darauf hin, dass jeder einfache in das Telephon geschickte Strom in einen zusammengesetzten Klang verwandelt wird (die Originalabhandlung enthält sowohl für diese Versuche als für diejenigen mit der tanzenden Flamme anschauliche graphische Darstellungen). Wenn schon die Wiedergabe der Vokale sich als mangelhaft erwies, so ist dies noch vielmehr bei den Konsonanten der Fall; selbst die deutlichsten bringen am Flammenbilde des Telephons kaum eine Spur von Eindruck hervor. Dies findet seine Bestätigung durch direkte Sprachversuche, denen zufolge namentlich die Wiedergabe der Aspirations-, Kehl- und Zischlaute höchst unvollkommen ist. Wie schon beim gewöhnlichen Sprechen, so wird, nur in noch höherem Grade, beim Telephonieren ein grosser Teil des Gesprochenen unbewusst erraten. —

Die beschriebenen Versuche werden nun nicht nur zu Demonstrationszwecken, sondern für eine Reihe von praktisch wichtigen Untersuchungen benutzt. Der schädliche Einfluss von in den Telephonkreis eingeschalteten Elektromagneten auf die Deutlichkeit der telephonischen Reproduktion wird durch die Flammenbilder nachgewiesen. Die Eigenschaften des Leitungskabels (Widerstand, Capacität und Selbstinduktion) bekunden ihre Wirkung nicht nur in den Intensitätsverhältnissen, sondern auch in den qualitativen Veränderungen der Schwingungsform. Diese aber sind für die telephonische Wahrnehmung weit wichtiger als jene; vergleichende Versuche zeigen, dass auch sehr geringe Intensitäten noch zu deutlicher Wahrnehmung gelangen, wenn die Qualität der Schwingung bewahrt bleibt; während selbst grosse Intensitäten bei sehr starker Änderung der Schwingungsform nicht mehr das Verständnis des Klanges zu bewirken vermögen. — Das Telephon mit tanzender Flamme hat sich ferner als Messinstrument brauchbar erwiesen. Dazu bedarf es einer Fixierung der Flammenbilder, die am genauesten auf photographischem Wege möglich ist. Bei der geringen Zeitdauer einer Flammenzacke ist in dess die gewöhnliche Leuchtgasflamme hierfür völlig ungeeignet; benutzt wurde vielmehr die in photochemischer Hinsicht als überaus wirksam bekannte Flamme von Schwefelkohlenstoff in Stickoxyd, die freilich auch nur die Spitzen (Zacken) der Flammenbilder deutlich wiedergab. Die Anwendung dieser Methode gestattet z. B. die Verfolgung der Stromintensität bei den schnell wechselnden oder schwankenden Strömen, die in allen Fällen der Ladung und Induktion auftreten und von denen die gewöhnlichen elektrischen Messungen nur Mittelwerte liefern, aus welchen auf den Vorgang selbst nicht geschlossen werden kann. So lässt sich u. a. die „Stromkurve“ für Wechselstrommaschinen und die Folge der Stromimpulse, welche bei Dynamomaschinen durch das Vorübergehen der Kommutatorlamellen an den Bürsten entstehen, graphisch wiedergeben. — Eine andere Anwendung bezieht sich auf chronographische Bestimmungen mit Hülfe der photo graphischen Flammenbilder, für deren Herstellung der rotierende Spiegel durch ein vielseitiges, mit schmalen lichtempfindlichen Streifen versehenes Prisma ersetzt wird, dessen Umdrehungszeit genau reguliert und bestimmt sein muss. Auf Grund dieser Methode wird schliesslich ein Vorschlag auseindergesetzt, wie die Geschwindigkeit eines Geschosses im Geschützrohr zu bestimmen wäre. Legt man nämlich in das Geschoss einen Eisenstab und versieht das Rohr aussen mit einem System von Drahtspiralen, deren jede aus einem primären von starkem Strom durchflossenen Teil und einem sekun-

dären mit dem registrierenden Telephon verbundenen Teil besteht, so muss, wenn das Geschoss eine solche Spirale passiert, ein Stromstoss entstehen, der am zugehörigen Telephon eine Flammenzuckung zur Folge hat. Diese Stromstösse würden in der vorher beschriebenen Art zu registrieren sein. Weitere Mitteilungen über diese wie über andere Anwendungen des Apparates sind in Aussicht gestellt.

Pyroelektrische Untersuchungen. Zur Erklärung der pyroelektrischen Erscheinungen an gewissen Krystallen, namentlich am Turmalin, ist schon seit langer Zeit, und noch neuerdings von W. Thomson, die Hypothese aufgestellt worden, dass jene Krystalle aus polar-elektrischen Molekülen bestehen; doch war es bisher nicht gelungen, alle Erscheinungen in befriedigender Weise mit dieser Annahme in Einklang zu setzen. E. Riecke hat nun (1885) eine Theorie entwickelt unter der Voraussetzung, dass der Turmalin ein permanent-elektrischer Körper ist; die Moleküle (resp. Volumelemente) des Krystalls werden als polar-elektrisch angesehen und ihnen nach Analogie der magnetischen Körper ein gewisses elektrisches Moment beigelegt, das sich bei Erwärmung oder Abkühlung, zugleich mit der Volumänderung der Elemente, verändert. Nach aussen erscheint diese Polarität nur als eine Belegung der Endflächen, deren Wirkung aber dadurch völlig aufgehoben werden kann, dass sich auf die Oberfläche eine entgegengesetzt elektrische Schicht auflagert. Dies ist der Grund, weshalb jeder Turmalin für gewöhnlich unelektrisch erscheint. Nur bei Temperaturänderung wird in Folge der Änderung des elektrischen Moments auch die aufgelagerte Ladung eine andere, so dass ein Überschuss freier Elektrizität an den Enden auftritt, der aber bald wieder verschwindet, weil die Oberfläche ein hauptsächlich von condensierter Feuchtigkeit herrührendes Leitungsvermögen besitzt. Der Einfluss dieses Leitungsvermögens trat schon in den damals angestellten Versuchen unzweifelhaft hervor. Ein entscheidender Beweis für die von der Theorie gemachte Voraussetzung ist aber erst dadurch geliefert worden, dass es Riecke gelungen ist, Turmaline permanent-elektrisch zu erhalten. (*Nachr. v. d. K. Ges. d. W. zu Göttingen, 1887, No, 7; Wied. Ann. 31, S. 889; 1887).* Die Turmaline wurden zu diesem Zweck in einem trockenen Kasten mehrere Stunden lang erhitzt und dann in einen Raum gebracht, wo die Bildung einer leitenden Oberflächenschicht verhindert oder wenigstens verzögert war. Als ausreichend hierfür erwies sich das Innere einer Luftpumpenglocke, wenn die Luft zuvor gut getrocknet und von Staub befreit war und dann mässig verdünnt wurde. Der elektrische Zustand der Krystalle wurde an einen Fechner'schen Elektroskop gemessen, welches (nach dem Vorgange von Gaugain) bei einer gewissen Grösse des Ausschlags eine Selbstentladung bewirkte, so dass die Zahl der beobachteten Entladungen ein Maass für die Menge der entwickelten Elektrizität abgab. In der Mehrzahl der Fälle war der elektrische Zustand noch nach durchschnittlich 24 Stunden erkennbar, während die Abkühlung (bis auf eine Differenz von $1/2$°) schon im Laufe von etwa 1 Stunde eintrat. Es ergab sich ferner, dass das Zeichen der an einem Krystallende entwickelten Elektrizität während der ganzen Abkühlung dasselbe bleibt, und endlich, dass bei freier Abkühlung eines Turmalins seine elektroskopisch nachweisbare Ladung wächst entsprechend der aus der Theorie abgeleiteten Gleichung $\varepsilon = E(1 - e^{-az})$, worin E den Maximalwert der Ladung, a eine Constante, z die Zeit bezeichnet, und wobei vorausgesetzt ist, dass der Einfluss der oberflächlichen Leitung vernachlässigt werden kann. Der graphisch dargestellte Verlauf dieser Formel stimmt mit den Beobachtungsergebnissen äusserst genau überein, so dass auch hierdurch die zu Grunde gelegten Annahmen eine Bestätigung erhalten. — Schliesslich werden Andeutungen über den Zusammenhang der Elastizität der Krystalle mit der pyroelektrischen Polarität gegeben; danach ist diese Eigenschaft nur bei solchen Krystallen zu erwarten, bei denen die Relationen für ein nach allen Richtungen gleiches Verhalten der Moleküle nicht erfüllt sind; dies trifft in der That, nach vorliegenden Messungen der Elastizitätsconstanten, bei Flusspath und Bergkrystall zu, während beim Steinsalz, wo jene Relationen bestehen, keine pyroelektrische Kraft vorhanden ist.



Das lange dauernde Haften des Staubes an der Oberfläche von Turmalinen erklärt der Verfasser als eine blosse Folge der Adhäsion, eingeleitet allerdings durch den Druck, mit welchem die Staubteilchen gegen die Fläche des Krystalls gepresst wurden, während dieser elektrisch erregt war. Ein direkter Zusammenhang zwischen diesem Anhaften des Staubes und der Polarität des Turmalins besteht nach der Ansicht des Verfassers nicht.

Chemische Zersetzung durch Druck. Eine Thatsache, welche mit der in Heft I, S. 35 berichteten Erstarrung einer Flüssigkeit durch Druck verwandt ist, haben W. SPRING und J. VAN'T HOFF *(Zeitschr. f. phys. Chem. 1887, S. 227)* beobachtet. Das Calcium-Kupferacetat ist ein Doppelsalz, welches sich oberhalb 75° C. in seine beiden Componenten zersetzt, wobei abweichend von analogen chemischen Processen eine Contraktion stattfindet. Dieselbe Zersetzung haben die genannten beiden Forscher dadurch hervorgerufen, dass sie das fein gepulverte Salz in einer Schraubenpresse von besonderer Construktion einem Druck unterwarfen, den sie auf 6000 Atmosphären angeben. Sie erklären es durch die Versuchsbedingungen für ausgeschlossen, dass durch die Compression eine Temperatur-Aenderung um mehr als Bruchteile eines Grades eintreten konnte. Die Zersetzung, die von einem Farbenwechsel aus blau in grün begleitet ist, kann daher nur der erzwungenen Volumverminderung des Salzes zugeschrieben werden.

Die Wechselwirkung von Zink und Schwefelsäure. PATTISON MUIR und R. H. ADIE haben bezüglich des Verhaltens von Zink zu Schwefelsäure (*Chem. N.* **56**, *205; 1887*) folgende Thatsachen festgestellt. Reines oder fast reines Zink giebt mit concentrierter Schwefelsäure fast ausschliesslich schweflige Säure; mit mässig verdünnter Säure entsteht bei mittlerer Temperatur nur Wasserstoff, bei höherer tritt daneben SO_2 und H_2S in wachsender Menge auf. Mit käuflichem Zink bildet sich bei jeder Temperatur und bei jeder Verdünnung stets (neben Wasserstoff) auch schweflige Säure und Schwefelwasserstoff. Daraus schliessen die Verf., dass die Einwirkung von fast reinem Zink und reiner Schwefelsäure (verschiedener Concentration) in der Hauptsache eine chemische Reaktion ist, während bei weniger reinem Zink elektrolytische Wirkungen auftreten; sie vermuthen, dass verwickeltere Reaktionen zwischen Zink und Molekularaggregaten von H_2SO_4 und H_4O, oder von H_2SO_4, SO_3 und H_2O stattfinden. (*Nach Chem. Centr. Bl.* **58**, *1484; 1887.*)

Darstellung von Ammoniak, Salzsäure und Chlor aus Chlorammonium. Nach LUDW. MOND (D. R. P. 40685) werden Dämpfe von NH_4Cl bei 350—400° C. über die Oxyde zon *Ni, Co, Fe, Mn, Al, Cn* oder *Mg* geleitet, wobei sich Metallchloride bilden und NH_3 entweicht, dessen vollständige Entfernung durch Auspumpen oder Durchleiten eines indifferenten Gasstromes bewirkt wird. Leitet man hierauf unter Erhitzung auf 500—600° C. langsam Luft über die Chloride, so wird *Cl* frei und wieder das ursprüngliche Oxyd gebildet, welches von neuem zur Zersetzung von Salmiak dienen kann. Leitet man dagegen statt Luft heissen Wasserdampf über die Chloride, so entsteht Salzsäure. (Bei Verwendung von Oxyden des *Fe* oder *Mn* müssen nach Austreibung des Chlors aus den Chloriden die gebildeten höheren Oxydationsstufen vor der wiederholten Verwendung reduziert werden, da diese höheren Oxyde beim neuen Überleiten von Salmiak das Ammoniak teilweise zerstören würden). — Statt über die Oxyde können nach demselben Verf. (D. R. P. 40686) die Salmiakdämpfe auch über die gesättigten Salze, Kieselsäuren, Borsäuren und Phosphorsäuren derselben Oxyden geleitet werden. Es bilden sich neben den Metallchloriden die sauren Salze, während das Ammoniak entweicht. Beim überleiten von Luft werden darauf unter Austreibung des Chlors die neutralen Salze zurückgebildet. Durch heissen Wasserdampf wird auch hier Salzsäure entwickelt. (*Pol. Notizbl. 1887, No. 31 und 32.*)



3. Geschichte.

Der Lullin'sche Versuch. Von K. L. Bauer (Karlsruhe) ist im *Rep. d. Phys. XXIII, S. 483—509 (1887)* eine Abhandlung veröffentlicht worden, aus welcher hervorgeht, dass Lullin ein Genfer Rechtsgelehrter war, der daselbst eine politisch hervorragende Stellung einnahm und wiederholt als erster Bürgermeister fungierte. Es hat nichts unwahrscheinliches, dass er als junger Mann das Laboratorium des ihm später eng befreundeten B. de Saussure besuchte und die „Dissertatio physica de electricitate“ (1766) verfasste, die seinen Namen trägt. K. L. Bauer giebt eine genaue Analyse dieser (vielleicht nur noch in einem Exemplar, in Genf, vorhandenen) Schrift, die für die Geschichte der Physik auch sonst von Interesse ist und wohl im wesentlichen die Ansichten Saussure's wiederspiegelt; in Poggendorff's *Biogr. litt. Hwb.* wird sie gradezu Saussure selber zugeschrieben. In ihr findet sich unter zahlreichen Versuchen auch der nach Lullin genannte: Eine Spielkarte wurde so zwischen die Spitzen eines Ausladers gebracht, dass diese einander nicht gerade gegenüberstanden, sondern 2 bis 3 Linien von einander entfernt waren; der Entladungsfunke einer Franklin'schen Tafel (tabula magica) durchbohrte die Karte dann stets in der Nähe der negativen Spitze, während er an der positiven Seite um ein entsprechendes Stück auf der Oberfläche der Karte fortglitt. Durch diesen Versuch sollte „die Natur befragt werden“, in welcher Richtung sich das elektrische Fluidum bei der Durchbohrung bewege. Lullin, der ein Anhänger der unitarischen (Franklin'schen) Theorie war, glaubte die Frage hierdurch entschieden, obwohl die Thatsache der beiderseitig aufgeworfenen Ränder schwer damit in Einklang zu bringen war. Er fasste den Vorgang so auf, als ob das elektrische Fludium aus der positiven Spitze ausströme, sich auf der Oberfläche der Karte fortbewege bis es sich der negativen Spitze grade gegenüber befinde, und dann das Papier durchbreche. Für das Verständnis der Erscheinung sind spätere Versuche von Trémery *(Gilb. Ann. XXIII)* wichtig, bei denen sich zeigte, dass im luftverdünnten Raum das ungleiche Verhalten der beiden Spitzen verschwindet. Trémery glaubte deshalb den Lullin'schen Versuch dadurch zu erklären, dass er der atmosphärischen Luft ein viel grösseres Leitungsvermögen für + als für — Elektricität zuschrieb. Riess dagegen *(L. v. d. Reib.-El. II, 213/214)* nahm an, dass die Oberfläche der Karte bei der ersten Partialentladung durch die an der Karte hingetriebene Feuchtigkeitsschicht negativ elektrisch werde, und dass daher die + Elektricität sich über eine grössere Fläche ausbreite, als die — Elektricität. Die beiderseitige Aufwerfung der Ränder wurde von Riess so gedeutet, dass die mechanische Wirkung der Entladung sich nach allen Seiten äussert und daher die Papierfasern da wo sie keinen Widerstand finden, auflockert, ohne dass dadurch für oder gegen eine bestimmte Richtung der Entladung etwas entschieden wird. — Von den zahlreichen sonstigen Versuchen, die in der kleinen Abhandlung Lullin's beschrieben sind, ist namentlich noch die Erschütterung zu erwähnen, die bei der Entladung durch Oel stattfand. „So haben wir dicke gläserne Becher, auch wenn sie offen und konisch waren, durch eine fast gefährliche Explosion zersprengt, indem wir die Erschütterung zwangen, durch das in den Bechern enthaltene Oel zu gehn“.

Gustav Theodor Fechner, geb. am 19. April 1801, gest. am 19. November 1887 in Leipzig, nimmt in der Geschichte der Physik des 19. Jahrhunderts eine bemerkenswerte Stelle ein. Sein Hauptwerk „Maassbestimmungen über die galvanische Kette“ (1831) lieferte die genaue experimentelle Bestätigung der Ohm'schen Theorie und zugleich wichtige Ergänzungen dazu, wobei die Stromstärke nicht aus der Ablenkung, sondern aus der Änderung der Schwingungsdauer der Magnetnadel bestimmt wurde. Die Untersuchungen Fechner's über den Übergangswiderstand haben die Grundlage für die genauere Erforschung der Polarisationswirkungen des Stroms gebildet. Die Hypothesen, welche Fechner zur Verknüpfung von Faraday's Induktionserscheinungen mit Ampère's elektrodynamischen Gesetzen (1845) aufstellte, sind für W. Weber (1846) als Voraussetzungen bei der Ableitung des elektrodynamischen Grundgesetzes maassgebend gewesen und auch

in Kirchhoff's Untersuchungen über die Bewegung der Elektricität in Drähten und in Leitern (1857) beibehalten worden. Fechner's Annahmen, dass in der Stromesleitung ein gleichzeitiger entgegengesetzter Strom von positiver und negativer Elektricität bestehe, dass die gleichartigen Elektricitäten bei gleicher Richtung einander anziehen, bei entgegengesetzer Richtung einander abstossen, ungleichartige Elektricitäten aber umgekehrt sich verhalten — diese Annahmen waren die subtilsten Verfeinerungen, zu denen die Hypothese der elektrischen Fluida nötigte. Wie auch später über diese Annahmen geurteilt werden mag, ihr historischer Wert ist schon dadurch fest begründet, dass sie zur Auffindung einer wichtigen neuen Naturconstanten geführt haben, deren Vorhandensein von Fechner vorhergesagt und deren Grösse von Weber ermittelt worden ist (Weber's Constante *c*). Auch Fechner's Deutung der Induktionserscheinungen fand durch W. Weber ihre mathematische strenge Bestätigung. — Von mehr philosophischer Bedeutung ist die Schrift: *„Über die physikalische und philosophische Atomenlehre“* (1855). Von den Leistungen Fechner's auf anderem Gebiete seien nur die *„Elemente der Psychophysik“* (1860) genannt, durch welche er eine neue Wissenschaft begründete; das Problem der Messung von Empfindungsintensitäten durch quantitative Grössenbeziehungen hat in den „psychophysischen Grundgesetze“ eine erste Formulierung gefunden, deren Berechtigung und Tragweite noch heut Gegenstand der Forschung ist. *P.*

---

4. *Unterricht und Methode.*

Das Verhältnis der mathematischen Physik zur Experimentalphysik hat Paul Janet zu Grenoble in einer Rede behandelt, die in der *Rev. scient. t. 39, 33 (1887)* veröffentlicht ist. Als Ziel der mathematischen Physik gilt ihm die Substitution des strengen und exakten Calcüls an Stelle der Erfahrung, die ihrer Natur nach mit einer „gewissen Ungenauigkeit“ behaftet sei. Andererseits erkennt er mit Newton nur diejenige Forschungsart an, die ihre Sätze aus den Erscheinungen ableitet und durch Induktion zu allgemeinen macht. Dieser Weg sei nach Newton von Männern wie Fourier, Sadi Carnot und Ampère eingeschlagen worden.

Als Beispiele für diesen Weg der Forschung werden die beiden Hauptsätze der Wärmetheorie angeführt. In dem ersten Satze ist nur die Rede von Grössen, die einen experimentell feststehenden Sinn haben: Temperatur, Wärmemenge, Arbeit; dieser Satz lässt daher eine direkte experimentelle Bewahrheitung zu; das hypothetische besteht hier nur darin, ein Gesetz als streng gültig anzunehmen, das die Erfahrung nur angenähert ergiebt, und dieses Gesetz auf alle die Fälle auszudehnen, wo die Erfahrung es nicht direkt gezeigt hat. Das zweite Gesetz besagt bekanntlich, dass in jeder Maschine, welche Wärme in Arbeit umsetzt, ein Wärmeübergang von einem wärmeren zu einem kälteren Körper stattfindet, und dass das Verhältnis der dem wärmeren Körper entzogenen Wärme zu der erzeugten Arbeit unabhängig von der Natur dieser Körper und nur abhängig von den Temperaturen beider ist. Dieses Gesetz hat zwar nur wenige direkte experimentelle Bestätigungen erfahren, aber eine grosse Zahl von Folgerungen daraus sind durch die Erfahrung als richtig erkannt worden; überdies ist es aus zwei Erfahrungsthatsachen ableitbar: aus der Notwendigkeit einer Temperaturdifferenz bei jeder thermischen Maschine und der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile. — Dagegen wird die kinetische Theorie der Gase, weil auf einer Anzahl von hypothetischen Voraussetzungen nicht erfahrungsmässiger Art beruhend, als eine metaphysische bezeichnet, die in Anbetracht gewisser Neigungen und Bedürfnisse des menschlichen Geistes nicht von der wissenschaftlichen Forschung auszuschliessen sei, aber nicht mehr als Physik gelten könne. Als weiteres Beispiel, ebenfalls noch aus dem Gebiet der Wärme, wird die Fourier'sche Theorie der Wärmeleitung angeführt, und dazu die lichtvolle Auseinandersetzung von Ampère citiert, die wir in freier Übersetzung wiedergeben: „Die Theorie der Wärmeleitung beruht auf allgemeinen Thatsachen, die unmittelbar durch die Beobachtung gegeben sind; die aus diesen Thatsachen abgeleitete Gleichung wird durch die Übereinstimmung ihrer Consequenzen

mit der Erfahrung bestätigt, sie muss daher als Ausdruck der wahren Gesetze für die Fortpflanzung der Wärme anerkannt werden sowohl von denjenigen, die eine Ausstrahlung von Wärmemolekülen annehmen, wie von denjenigen, welche die Erscheinung auf die Vibrationen eines den Raum erfüllenden Fluidums zurückführen. Wenn den beiden letztgenannten Theorieen die Ableitung des thatsächlichen Gesetzes aus ihren Grundhypothesen gelingt, so haben sie damit nicht etwa die Gewissheit des Gesetzes erhöht, sondern nur die Zulässigkeit ihrer Hypothesen dargethan. Der Physiker, der in dieser Hinsicht keine Partei ergriffen hat, wird fortfahren Fourier's Gleichung als exakten Ausdruck der Thatsachen zu betrachten; und wenn neue Erscheinungen und neue Rechnungen dazu führen sollten, dass die Wirkungen der Wärme in Wirklichkeit nur durch die Vibrationshypothese erklärt werden können, so wird der grosse Physiker, der zuerst jene Gleichung aufgestellt und für ihre Anwendung neue Integrationsmethoden aufgesucht hat, darum nicht weniger als der Urheber der mathematischen Theorie der Wärme gelten, ebenso wie Newton der Urheber der Theorie der Planetenbewegungen ist, obwohl erst seine Nachfolger die vollständige Deduktion der Gesetze geliefert haben.“ —

Ampère selber hat mit seiner Ableitung der elektrodynamischen Wirkungen ein weiteres schönes Beispiel für eine durchaus nur auf thatsächlichen Voraussetzungen ruhende Theorie gegeben. Aber auch in der Geschichte der Elektrodynamik sind geistvolle Spekulationen gefolgt, welche die von Ampère aufgestellten Gesetze mit den allgemeinen Prinzipien der Mechanik zu verknüpfen suchten, und die, sofern sie auf nicht verificierbaren Grundvoraussetzungen beruhen, über die Grenzen der Physik als Erfahrungswissenschaft hinausgehn.

In der Elektrostatik erklärt sich das Festhalten an der Hypothese der elektrischen Fluida zum grossen Teil aus der Leichtigkeit, die daraus für den Calcül erwächst; mit der Elektricität wird gerechnet wie mit einer materiellen Substanz, deren Teile sich nach dem Newton'schen Gesetz anziehn oder abstossen. Die Hypothese hat sich indessen so fruchtbar erwiesen für die Erforschung der elektrostatischen Gesetze, und ihre Ergebnisse stimmen so durchgängig mit der Erfahrung überein, dass man den Schluss ziehen darf — nicht etwa auf die Wahrheit der Hypothese, sondern darauf, dass die erhaltenen Formeln absolut wahr sind und unabhängig von dem besonderen Hülfsmittel, durch welches wir zu ihnen gelangt sind. Janet fordert daher, dass man die Hypothese eliminieren müsse, die ein der Untersuchung fremdes Element enthalte, und dass man suchen müsse, dieselben Formeln unabhängig von jeder Hypothese zu erhalten. Er teilt mit, was auch für uns von grossem Interesse ist, dass man in Frankreich bestrebt sei, beim Unterricht alle Grössen wie elektrische Masse, elektrische Dichtigkeit u. s. f., die noch der Sprechweise der Hypothese entlehnt sind, auf rein experimenteller Grundlage zu definieren.

In der Optik ist es noch unmöglich, von der Hypothese des Lichtäthers und der Vibrationsbewegung abzusehen. Hier hat die Analogie der Lichterscheinungen mit denen des Schalls dieselbe Folge gehabt, wie die vorhin erwähnte Analogie der elektrischen Wirkungen mit denen der Gravitation. Auch hier ist die Annahme von Wellen nur eine Gedankenschöpfung (conception de l'esprit). Aber auch hier hat die Hypothese in den Händen Fresnel's, zu den bewundernswertesten Resultaten geführt, die von der Erfahrung bestätigt worden sind. Was indessen thatsächlich allen Ableitungen zu Grunde liegt, ist nur das Vorhandensein einer Grösse im Raum, die periodisch variabel ist; alles weitere ist hypothetisch. Hypothesen dieser Art sind notwendig für die Wissenschaft und können zu ihren glänzendsten Entdeckungen führen; aber man darf nicht aus dem Auge verlieren, dass sie nur ein Gerüst sind, dessen Entfernung in einem geeigneten Moment erst das Werk frei und in sich ruhend hervortreten lässt.

Janet beruft sich für die hier dargelegte Auffassung auf das Wort von Aug. Comte, dem Schöpfer der ‘Philosophie positive’: „Eine wissenschaftliche Hypothese muss sich ausschliesslich auf die Gesetze der Erscheinungen beziehen und niemals auf die Art



ihrer Hervorbringung". Von diesem Gesichtspunkte betrachtet ist die mathematische Physik zugleich eine experimentelle Physik; wenn sie auf den Calcül ihre Folgerungen stützt, so schöpft sie aus der Erfahrung ihre Gewissheit.

Die elementare Herleitung des Newton'schen Anziehungsgesetzes aus den Kepler'schen Gesetzen. Das unter diesem Titel von H. Vogt (Breslau) in der *Ztschr. f. math. u. naturw. Unt. 1887, S. 481* veröffentlichte Verfahren ist im wesentlichen dasselbe, welches in dem astronomischen Abschnitt von Jochmann's Grundriss der Physik angewandt ist. Die Kreisbewegung eines freien Punktes, auf den ein ausserhalb des Mittelpunktes M gelegenes Anziehungscentrum C wirkt, erfordert ein von dem Newton'schen verschiedenes, hier elementar abgeleitetes Anziehungsgesetz. Die erhaltene Bewegung wird auf eine durch MC gelegte Ebene projiciert, deren Neigung so gewählt ist, dass C ein Brennpunkt der nun elliptischen Bahn wird. Der Verf. hat die bisherigen Methoden einer kritischen Vergleichung unterzogen, doch scheint ihm die spätere Schellbach'sche Methode (*Crelle's Journal, Bd. 74*), die ebenso einfach ist, wie die Hamilton'sche, (vgl. *Maxwell, Matter and motion, art. 133*) nicht bekannt gewesen zu sein. Die Kürze, Allgemeingültigkeit und elementare Natur der letzteren erkennt der Verf. an, verwirft sie aber deshalb, weil der bei ihr benutzte Begriff des Hodographen allein zum Zweck dieses Beweises eingeführt werden müsse. (Als Hodograph einer Planetenbahn bezeichnet man den Ort der Endpunkte der nach Grösse und Richtung von einem festen Punkte aus abgetragenen Geschwindigkeiten des Planeten.) Hierzu möge bemerkt sein, dass der Hodograph der Erdbahn der Aberrationsbahn jedes Sternes zu Grunde liegt. Denkt man sich den mittleren Ort (α) eines Sternes auf einem Himmelsglobus, dessen Radius gleich der Geschwindigkeit des Lichtes (40000 Meilen) sei, und zieht man von α eine die augenblickliche Erdgeschwindigkeit nach Grösse und Richtung darstellende Linie, so giebt die Gerade vom Centrum nach dem Endpunkte dieser Linie den scheinbaren Ort des Sterns. Die Endpunkte aller solcher Linien bilden einen den Punkt α umgebenden excentrischen und der Ebene der Ekliptik parallelen Kreis, der mit ungleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen wird und sich auf den Globus im allgemeinen als (excentrische) Ellipse projiziert. *M. K.*

---

5. Technik und mechanische Praxis.

Über Herstellung, Eigenschaften und Verwendung sehr dünner Fäden. In den *Proceed. of the Phys. soc. of London, IX, 8, Octob. 1887* beschreibt C. V. Boys Versuche zur Herstellung dünner Fäden, bei denen eine sehr kleine Glasmasse durch ein Löthrohr möglichst weit erhitzt und dann mittels eines sehr leichten Pfeils (Nähnadel und Strohhalm) mit einer sehr grossen Geschwindigkeit fortgeschleudert wurde. Als Material für den Bogen wird Tannenholz gewählt, diejenige Holzsorte also, welche die grösste Schallgeschwindigkeit und also die grösste Elasticität hat. Es gelang auf diese Weise Glasfäden von $^1/_{10000}$ Zoll Durchmesser herzustellen. Auch geschmolzene Mineralien wurden benutzt, es zeigten sich Smaragd, Almandin, Orthoklas, besonders aber Quarz für diesen Zweck geeignet. Die Quarzfäden schätzt der Verf. auf weniger als $^1/_{100000}$ Zoll, also unter der Leistungsfähigkeit der besten Mikroskope. In einem guten Zeiss'schen Mikroskop war das Bild des Fadens, vom dickeren Ende aus untersucht, bis auf einen schmalen Bruchteil einer Teilung in 13000stel Zoll sichtbar; dann wurden Diffraktionsfransen vorherrschend, die bis zum dünnsten Ende hin das Vorhandensein des für sich nicht mehr sichtbaren Gegenstandes andeuteten. Diese Quarzfäden zeigten eine ausserordentlich vollkommene Torsionselasticität, so dass ihre Verwendung für Präcisionsmessungen und für sehr feine Wägungen vorteilhaft sein wird. Auch Diffraktionsgitter hat der Verf. bereits hergestellt, die bei vollkommnerer Ausführung alle bisherigen übertreffen dürften.

Über die Verwendung des Diamanten in der Präcisionsmechanik macht Hugo Schröder (*Ztschr. f. Instrumentenk. VII, 261 u. 339; 1887*) interessante Mitteilungen. Der Diamant wird sowohl als Stichelschneide für feine Dreharbeiten an Stahl und harten

Steinen, wie auch als Reisser für Teilungen, Gitter u. s. w. verwendet. Die Fassung geschieht, indem der Stein zunächst lose in die axiale Bohrung eines weichen Kupferdrahtes gebettet wird; darauf wird durch Anpressen des letzteren gegen ein rotierendes kelchförmiges Werkzeug das Metall gegen und über den Diamanten gedrückt, sodass es diesen allseitig fest umschliesst. Um nun die Spitze frei zu legen, wird auf einem Sandstein das Kupfer genügend weit weggeschliffen, wobei der Diamant vermöge seiner Härte unversehrt bleibt. — Zur Herstellung feiner Glasgitter benutzt Nobert eckige Diamantspitzen, welche unter ganz leisem Druck — bei den ganz feinen Teilungen (Strichabstand unter 0,000162 Linien) genügt das Eigengewicht des Stichels — von einem Uhrwerk über die Fläche hingezogen werden. Bei zu starkem Drucke würde das Glas eine Pressung erleiden und der Strich infolgedessen aussplittern. Man kann sich von der Möglichkeit, auf diese Weise dauernde Pressungen hervorzurufen, überzeugen indem man mit der kugelförmig abgestumpften Spitze eines glasharten Polierstahles auf poliertes Spiegelglas schreibt. Bringt man dann dieses unter das Polarisationsmikroskop, so erscheint bei Zwischenschaltung einer Gypsplatte die Schrift in einer der Spannung des Glases entsprechenden Färbung. — Der Grund für die Eigenschaft des Diamanten, Glas zu schneiden, wird neben seiner Härte in einer Konvexität seiner Kanten gefunden. Das Durchschneiden dünner Platten empfiehlt der Verfasser auf einer dicken matten Glasplatte unter Zwischenschaltung von etwas Wasser vorzunehmen; beim Schneiden von Deckgläschen, welche meist Kugelkalotten sind, soll man darauf achten, dass die konvexe Seite hierbei nach unten kommt. *E—n.*

Elektrisches Löthen und Schweissen der Metalle. Wie R. Rühlmann in der *Ztschr. d. Vereins deutsch. Ing. XXXI, 281 u. 863* mitteilt, sind neuerdings zwei Verfahren hierfür angegeben worden. Nach dem einen, von dem Amerikaner Elihu Thomson erfundenen, werden die zu vereinigenden Stücke gegeneinander gepresst und ein Strom von entsprechender Stärke durch die Verbindungsstelle geschickt, welche dadurch zum Erweichen gebracht wird. Beispielsweise erforderte die Vereinigung zweier Eisenstäbe von 37 mm Durchmesser während nicht ganz $1^{\text{min.}}$ einen Strom von 50000 Amp. und ½ Volt, d. h. den Effekt von 35 Pferdekräften. Derartig intensive Ströme werden durch einen Transformator geliefert, welcher die von einer Wechselstrommaschine kommenden Ströme geringer Intensität und hoher ‚Spannung' in solche von hoher Intensität aber geringer ‚Spannung' umsetzt. Der sekundäre Stromkreis eines solchen Transformators (ein breiter Kupferring) hat einen Widerstand von nur 0,00003 Ohm.

Das zweite Verfahren rührt von N. v. Benardos in Petersburg her. Dieser benutzt den elektrischen Lichtbogen, wobei das Metall (resp. die zu vereinigenden Metallteile) mit dem negativen Pol verbunden und ihm eine Kohle als positiver Pol gegenüber gestellt wird. Der von einer Nebenschlussmaschine gelieferte Strom, wird einer parallel geschalteten Gruppe von Akkumulatoren zugeführt. Ein in unmittelbarer Nähe des Arbeiters befindlicher Umschaltetisch gestattet diesem, die gerade geeignete Schaltungsweise herzustellen. Die Kohle mit dem von ihr zum Werkstück übergehenden Lichtbogen wird wie eine Stichflamme gehandhabt. Das Auge des Arbeiters ist durch dunkles Glas geschützt, durch die Verbindung mit dem — Pol ist das Metall vor der Oxydation gesichert. Bei der hohen Temperatur des Lichtbogens gelingt es, selbst heterogene Metalle, wie Eisen mit Kupfer, Zinn, Zink, Blei, Gusseisen mit Stahl ohne Anwendung eines Lothes zu vereinigen. Die Festigkeit so verschmolzener Metallstücke ist nahezu derjenigen des unbearbeiteten Materials gleich. Von den ferneren Anwendungen des Verfahrens ist das Einschmelzen von Löchern, das Ausbessern schadhafter Stellen, gebrochener Wellen u. s. w., endlich das Löthen unter Wasser hervorzuheben. *E—n.*



Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physikalische Demonstrationen von Dr. Adolf F. Weinhold, Professor an den technischen Staatslehranstalten in Chemnitz. 2. vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 4 lithographischen Tafeln und 517 Holzschnitten. Leipzig, Quandt u. Händel, 1887. XV und 739 S. M. 22,50.

In Verbindung mit des Verfassers ‚Vorschule der Experimental-Physik' (3. Aufl. 1883) gestaltet sich dies Werk immer mehr zu einem Grundbuch für die physikalische Demonstrations-Praxis. Die zweite Auflage ist mannichfach bereichert, sowohl durch wertvolle praktische Winke, wie durch eine Anzahl neuer Apparate, unter diesen die „Influenzmaschine ohne Polwechsel", Christiani's Wasserwellenmaschine, v. Waltenhofen's Pendel zum Nachweis der Foucault'schen Ströme. Charakteristisch ist, dass jetzt auch die magnetischen Kraftlinien eingeführt und bei der Erklärung des Gramme'schen Ringes und der v. Hefner-Alteneck'schen Trommel verwendet sind. Die Frage der Bezeichnungen ‚Spannung' und ‚Potential' wird gleichfalls erörtert und die Verschiedenheit beider durch einen hübschen Versuch erläutert, indem durch Ableitung verschiedener Stellen eines leitenden Hohlkegels nach dem Elektroskop gezeigt wird, dass das Potential an allen Stellen gleich gross ist, während die Ladung einer Probekugel [oder Probescheibe] an verschiedenen Stellen verschieden gross ausfällt. An Stelle von Potential will der Verfasser die Bezeichnung Spannung beibehalten wissen, unter Verwerfung des Gebrauchs desselben Worts für den Druck gegen ein Oberflächenelement. Für den Nachweis des entgegengesetzten Poles bei der magnetischen Verteilung ist ein von Meutzner angegebenes Verfahren empfohlen, das wohl auch sonst schon im Unterricht eingeschlagen worden ist. Dem einen Pol eines Stabmagneten wird eine Magnetnadel gegenübergestellt und demjenigen ihrer Pole, welcher dem Magneten zunächst liegt, von der Seite her ein unmagnetischer Eisenstab (‚magnetisch' ist ein Druckfehler) genähert. Der angerathenen Projektion des Versuches bedarf es wohl kaum, da durch zwei farbige Markkügelchen, welche auf die Spitzen der Nadel aufgesteckt werden, selbst geringe Drehungen der letzteren gut sichtbar gemacht werden können, namentlich wenn man den unmagnetischen Stab in gewissem Tempo nähert und wieder entfernt. *P.*

Leitfaden der Experimental-Physik für Gymnasien. Mit einem Anhang: Mathematische Geographie und Grundlehren der Chemie. Von Prof. Dr. Georg Krebs. 2. verb. Auflage. Mit 412 Fig, 2 lithogr. Tafeln, 1 Farbentafel und Logarithmentafel. Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1887. VIII und 476 S.

Der Leitfaden enthält ein sehr reiches Material in übersichtlicher Anordnung. Die zweite Auflage unterscheidet sich von der ersten, nach Angabe des Verf., hauptsächlich durch die Umarbeitung der Grundgesetze der Mechanik, wofür die von Mach herrührenden scharfsinnigen Aufstellungen zu Grunde gelegt sind *(Vergl. Carl's Rep. Bd. IV* und *Mach, die Entwicklung der Mechanik, S. 188 ff).* Demgemäss beginnt der Verf. das Kapitel von den Kräften mit dem „Erfahrungssatz": „Wenn freibewegliche Körper aufeinander wirken, so erteilen sie einander entgegengesetzte Beschleunigungen". Dann wird das Massenverhältnis zweier Körper als das negative umgekehrte Verhältnis der gegenseitigen Beschleunigungen, die Kraft als das Produkt aus Masse und Beschleunigung definiert. Wir können dem Verf. in der Verwendung dieser Sätze für eine Einführung in die Lehre von den Kräften nicht beipflichten und sind gewiss, dass auch dem Urheber jener Massendefinition selber eine solche Übertragung auf den elementaren Unterricht völlig fern liegt. Der an die Spitze gestellte Erfahrungssatz entspricht weder dem Kriterium der unmittelbaren Anschaulichkeit, noch dem der (auch für die Schüler) hinlänglich beglaubigten Allgemeingültigkeit; er ist vielmehr erst als Abstraktion aus einer grossen Zahl physikalischer Erscheinungen und im Zusammenhange mit dem Gesetze der Aktion und Reaktion gewonnen worden. Wir erkennen daher in der Einführung jener Definition eine unzulässige Bevorzugung der deduktiven Geistesrichtung und eine Ab-

wendung von den natürlichen und gesunden Grundlagen der Erkenntnis. Ein solches Verfahren passt auch nicht zu der sonstigen Darstellungsweise des Buches, welches in manchen Beziehungen auf eine geradezu handgreifliche Anschaulichkeit hinarbeitet. In Pfaundler's viel ausführlicherem Lehrbuch ist Mach's Definition nur in einer Anmerkung erwähnt, übrigens aber der nicht ganz zutreffende Einwand erhoben, dass die darin enthaltene Erfahrungsthatsache nur aus astronomischen Beobachtungen zu gewinnen sei *(Müller-Pfaundler, 9. Aufl., I, 85).* Die Möglichkeit einer solchen Meinungsverschiedenheit allein zeigt schon, welche Bedenken es haben muss, Erfahrungssätze allgemeinster Art dem Unterricht zu Grunde zu legen. Das vorliegende Lehrbuch hat denn auch die Lücke, dass jede Überleitung zu der Gravitationsdefinition des Kraftbegriffes fehlt; es wird vielmehr ohne weiteres die Kraft, welche von einer Masse ausgeübt wird (Attraktion) mit der Kraft, welche auf diese Masse wirkt (Schwere) identisch gesetzt. Es dürfte daher entschieden vorzuziehen sein, dass man bei dem, von metaphysischer Unklarheit gereinigten, älteren Begriff der Masse bleibt, wie er etwa auch von Kirchhoff in der 2. Vorlesung der *„Mechanik“* gebraucht wird, dass man also unter Masse diejenige Eigenschaft der Materie versteht, vermöge welcher verschiedene Körper unter der Einwirkung einer gleichen Kraft verschiedene Beschleunigungen erlangen. *P.*

Die Geschichte der Physik in Grundzügen von Dr. Ferd. Rosenberger. III. Teil, 1. Abteilung. Braunschweig, Vieweg u. Sohn, 1887. 318 S. M. 6,50.

Die neu erschienene Abteilung des Werkes zeigt, wie die abgeschlossenen ersten beiden Teile das schöne Bestreben des Verfassers, aus dem Gewirre der Einzelforschungen die wissenschaftlichen Leitideen jedes Zeitalters kräftig hervorzuheben; und dieses Bestreben ist auch den Schwierigkeiten nicht unterlegen, welche die Annäherung an die Gegenwart und die Schilderung von Jahrzehnten voll wesentlich experimenteller Arbeit ihm allerdings entgegensetzt. Das biographische Element tritt mit Recht gegenüber den wissenschaftlichen Ideengruppen noch mehr zurück als in den abgeschlossenen Teilen des Werkes und wird nur in Fussnoten gegeben.

Den ersten Abschnitt bildet im vorliegenden Hefte die Zeit von 1780 bis 1815, die der Verfasser als Periode der Imponderabilien bezeichnet. Sie erscheint in fast allen Stücken als die Vorstufe der mit dem Jahre 1840 abgeschlossenen Periode der Kraftverwandlungen. Den Abschluss des ganzen Werkes, den der Verfasser leider erst in 2 bis 3 Jahren liefern zu können hofft, würde die Entwickelung der Energieanschauungen bilden und ihre bis in die Gegenwart reichende wissenschaftliche Ausarbeitung. So dürfen wir erwarten, dass sich das Werk zu einem harmonischen Aufbau der verwickelten Geschichte der Physik der letzten hundert Jahre ausgestalten wird. *G. Helm.*

Handbuch der Elektricität und des Magnetismus. Für Techniker bearbeitet von Dr. O. Frölich. Mit in den Text gedruckten Holzschnitten und zwei Tafeln. 2. vermehrte und verbesserte Auflage. Berlin 1887, J. Springer. XIV. u. 508 S. M. 15,00.

Die Gesichtspunkte, die bei einem für den Praktiker bestimmten Lehrbuch maassgebend sind, unterscheiden sich nicht unerheblich von denen, welche beim Unterricht an Schulen ins Auge gefasst werden müssen; dort kommt es auf Mitteilung von Kenntnissen, hier auf Ausbildung des Erkenntnisvermögens an. Die Mittel aber, durch welche in jenem Falle eine klare Anschauung von den Grundgesetzen des Gebietes erreicht wird, können vielfach auch im Schulunterricht von Nutzen sein. Überdies gewährt das Buch eine Einsicht in den heutigen Zustand der Technik und in die Beziehungen, welche zwischen den Grundgesetzen und deren Anwendungen bestehen. Neben den Dynamomaschinen und den Telephonen ist namentlich die Telegraphie eingehend behandelt; nicht sowohl die Apparate, als die Vorgänge und die Messmethoden sind es, deren Erläuterung das Buch sich zur Aufgabe setzt. Von besonderem Interesse ist die Darstellung der elektrischen Erscheinungen in Telegraphenkabeln (S. 343—399). *P.*



Versammlungen und Vereine.

60. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Wiesbaden, 1887. Rede von Johannes Wislicenus: Über die Entwicklung der Lehre von der Isomerie chemischer Verbindungen[1]).

Der Vortrag giebt — ausser einer wichtigen neuen Hypothese des Autors — die Geschichte eines belangreichen Abschnittes der theoretischen Chemie.

Die moderne Chemie, welche durch Lavoisier's Deutung des Verbrennungsprocesses eingeleitet wurde, erkannte vermöge ihrer quantitativen Richtung, dass die Eigenschaften der Verbindungen nicht nur von der Art, sondern auch von der Gewichtsmenge ihrer elementaren Bestandteile abhängig sind. Das Grundgesetz, dem „die Änderungen in den sich mit einander verbindenden relativen Massen folgen" — das Gesetz der ganzzahligen multiplen Proportionen — wurde von Dalton 1804 entdeckt und in seiner 1810 veröffentlichten Atomlehre begründet. — Ein Jahr später führte Avogadro den Begriff der aus Atomen zusammengesetzten Molekel ein, indem er, auf Gay-Lussac's bekannte Untersuchungen gestützt, den Satz aussprach, dass gleiche Volumina von Gasen und Dämpfen bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viel kleinste Partikelchen (oder Molekeln) enthalten.

Nach der neuen Anschauung sollten die Eigenschaften der Verbindungen ausschliesslich durch Art und Zahl der in ihrer Molekel vereinigten Atome bestimmt werden. Hiergegen sprachen jedoch manche Thatsachen, wie die gleiche Zusammensetzung des Kalkspats und des Arragonits, der in allen Eigenschaften so grundverschiedenen cyansauren und knallsauren Salze u. s. w. — Berzelius erklärte es zwar anfangs für unmöglich, dass die angeführten Körper nach Qualität und Quantität der Elemente gleich sein könnten; aber als seine eigenen Forschungen (insbesondere über die Weinstein- und Traubensäure) neue Bestätigung brachten, schlug er 1830 für diese Thatsache den Namen „Isomerie" vor. — Von den isomeren Stoffen im engeren Sinne — auch metamere genannt — trennte er als polymer sofort diejenigen ab, welche verschiedene Dampfdichte, also auch verschiedene Molekulargrösse besassen. Auch das Rätsel der eigentlich isomeren Verbindungen erschien mit Hilfe der Theorie der zusammengesetzten Radikale lösbar; man erkannte, dass ihre Molekeln zwar gleich seien nach Art und Zahl der Atome, aber verschieden durch Aneinanderlagerung derselben zu verschiedenen engeren Gruppen.

Inzwischen waren jedoch neue isomere Verbindungen dargestellt worden, wie die sekundären und tertiären Alkohole, welche man weder auf Polymerie noch Metamerie zurückführen konnte, indem sich ihre Molekeln selbst bezüglich der zusammengesetzten Radikale als gleich erwiesen. Es war klar, dass die Gründe hierfür in den Radikalen selbst gesucht werden mussten. — Gleichzeitig zwangen auch andere Erwägungen, von den Gruppen auf die Elemente zurückzugehen; es ergab sich (seit 1847) eine Auflösung der Radikaltheorie, und man bestrebte sich, die Eigenschaften der Verbindungen direkt von den Elementaratomen herzuleiten. — Hierzu war zunächst eine — vielfach für unmöglich erklärte — genaue Bestimmung aller Atomgewichte nötig, eine Aufgabe, welche durch Zuhilfenahme neuer, rein chemischer Methoden erfüllt werden konnte.

Gleichzeitig wurde die merkwürdige Allotropie der Elemente als ein besonderer Fall von Polymerie erkannt. Durch Anwendung des inzwischen als Gesetz erkannten Avogadro'schen Satzes fand man, dass auch die Atome der Grundstoffe zu Molekeln chemisch verbunden seien, und zwar je nach ihrer verschiedenen Zahl zu den Molekeln verschiedener Modifikationen desselben Elements.

Seit etwa 25 Jahren ist die Strukturchemie die herrschende chemische Richtung. Sie beruht auf der Lehre von der Valenz als einer aus den Atomgewichtsbestimmungen erschlossenen neuen Fundamentaleigenschaft der Atome. Sie berücksichtigt ausser Art und Zahl der Atome einer Molekel auch die Reihenfolge, „nach welcher diese gemäss ihren Fundamentalwerten mit einander verbunden oder verkettet sind". Durch Bestimmung der Constitution oder Struktur sind zahlreiche Isomerieen (Butan und Isobutan, Äthylen- und Äthylidenmilchsäure), welche der Radikaltheorie Schwierigkeiten boten, aufgeklärt, viele andere theoretisch vorhergesagt und die entsprechenden Verbindungen später dargestellt worden.

Die organische Chemie kennt jedoch auch isomere Körper von gleicher Struktur, die weniger in ihrem chemischen als in ihrem physikalischen Verhalten Verschiedenheiten zeigen, so die Gährungs- und die Fleischmilchsäure, von denen die erstere optisch inaktiv, die andere optisch aktiv ist (d. h. die Schwingungsebene eines polarisierten Lichtstrahls dreht. Die Lösung des neuen Problems gaben 1873 Le Bel und van't Hoff. Dieselben betrachten die Molekeln nicht als

[1]) Die Rede ist auch in der „Naturw. Rundschau", No. 45, 1887 (5. Novbr.) abgedruckt.



ebene, sondern als räumliche Gebilde, indem sie die Lage von vier Atomen oder Radikalen zu dem sie anziehenden Kohlenstoffatom mit derjenigen der Ecken zu dem Centrum eines Tetraëders vergleichen. Alsdann ergiebt sich eine Möglichkeit zweier verschiedenen Formen räumlicher Gruppierung trotz identischer Struktur, und zwar für solche Verbindungen, die, wie sämtliche optisch aktiven, ein asymmetrisches (d. h. mit vier unter einander verschiedenen Atomen oder Radikalen verbundenes) Kohlenstoffatom besitzen. — Eine Hypothese zum Verständnis einer zweiten Klasse isomerer Körper, die bei derselben Constitution aus geometrischen Gründen verschieden sind, hat Wislicenus selbst aufgestellt. Sie bezieht sich auf ungesättigte Verbindungen wie die Fumar- und Maleïnsäure, in denen zwei Kohlenstoffatome mit je zwei Valenzen vereinigt sind, und unterliegt zur Zeit der Kritik der Chemiker (vgl. diese Zeitschr. H. 2, S. 85).

Zum Schlusse seiner Betrachtungen hebt der Verfasser hervor, dass „die grossen Fragen der chemischen Isomerie nur vom Boden der atomistischen Naturanschauung aus beantwortet werden konnten“ und daher „ein starkes Zeugnis für die Existenz der Atome ablegen.“ *J. Sch.*

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 25. November 1887. Herr Stapff sprach über Bodentemperatur-Beobachtungen im Hinterland der Wallfischbay. Die Schwankungen der Bodentemperatur erwiesen sich viel beträchtlicher als die der Lufttemperatur; eine Bewegung der letzteren zwischen 12,8° und 30,0° war von einer Änderung von 12,4° bis 54,7° in der Oberfläche von Sandboden begleitet. — Herr Sieg teilte ein Verfahren zur Bestimmung der Capillaritätsconstanten an grossen Tropfen und Blasen mit; aus den Resultaten sei hervorgehoben, dass absorbierbare Gase, die über den Flüssigkeiten stehen, die Capillaritätsconstante vermindern, um so mehr, je grösser der Absorptionscoefficient ist; gashaltige Lösungen zeigen grössere Capillaritätsconstanten als gasfreie.

Sitzung am 8. Dezember 1887. Herr E. Budde teilte eine neue Methode zur Lösung von Schwingungsproblemen mit, bei welcher die Parameter der Fourier'schen Reihen als Coordinaten in die Lagrange'schen Gleichungen eingeführt werden. So ergab sich, dass bei zwei geometrisch ähnlichen Platten die Tonhöhen homologer Schwingungen sich umgekehrt wie die Quadrate der Kantenlängen verhalten; auch für zwei quadratische Platten von gleicher Dimension, aber verschiedenem Material wurde das Verhältnis der Tonhöhen bestimmt. — Herr E. Pringsheim teilte eine gemeinsam mit O. Lummer ausgeführte Bestimmung von k, dem Quotienten der specifischen Wärmen mit. Es wurde ein Glasballon von 70—90 l. Inhalt benutzt, ein Überdruck von 80 bis 172 mm Quecksilber angewandt und die Temperatur aus der Widerstandsänderung einer Silberspirale von 0,02 mm Drahtdicke und 13,6 S. E. Widerstand ermittelt. Das Mittel der Messungen war $k = 1{,}3840$, die grösste Abweichung vom Mittel weniger als 0,1%.

Sitzung am 22. Dezember 1887. Herr Schwalbe unterzog die Untersuchungen von Aubel und van't Hoff — über die Geschwindigkeit der Einwirkung von bleihaltigem Zink auf einige Säuren — einer eingehenden Besprechung.

Berichtigung: In Heft II, S. 85, Z. 4 v. u. ist zu lesen: „in absolutem Maass 422, 4 bez. 422, 2, in kgm (für Berlin) 432,5.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 28. November 1887. Herr M. Koppe trug über den Winkelspiegel vor und besprach Zahl und Lage der entstehenden Bilder unter Berücksichtigung der Stellung des Auges.

Sitzung am 12. Dezember 1887. Herr Poske zeigte und besprach neue Apparate und Versuche.

Sitzung am 16. Januar 1888. Herr Schwalbe (Ehrenmitglied) führte eine Reihe von Versuchen vor über Diffusion der Gase, Ladung von Elektroskopen, Druckfortpflanzung in Flüssigkeiten, Umkehrung der Verbrennung u. a. Herr Poske teilte einen Versuch zur Demonstration der magnetischen Induktion mit und berichtete über neue Apparate.

Mitteilungen aus Werkstätten.

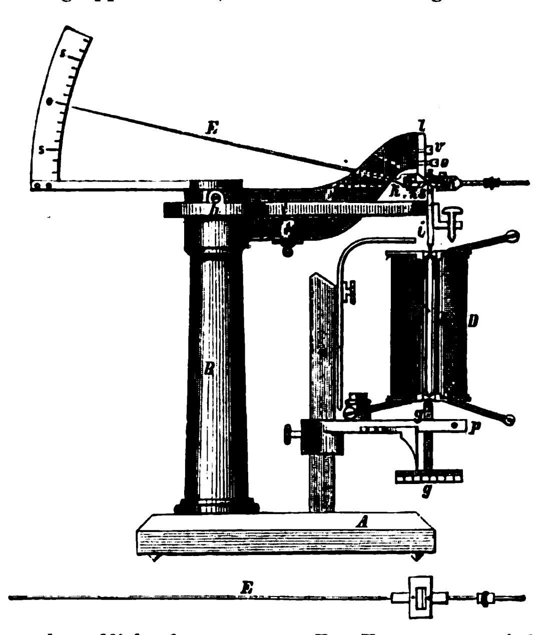
Fühlhebel-Apparat

von R. Fuess in Berlin.

Der Apparat ist gleichzeitig zu Fundamentaluntersuchungen und zu Demonstrationen über die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme bestimmt. Auf dem Sockel *A* befindet sich die Säule *B* mit dem Träger *C*, dem Erhitzungs-Apparat *D* und dem Fühlhebel-System *E*.



An dem oberen Ende des Trägers ist die Schneide l befestigt, ebenso an dem rechten Ende des um h drehbaren Armes i die Schneide c, zwischen beiden ruht der Fühlhebel, dessen langer Arm durch eine Durchbrechung des Trägers hindurchragt und auf die Skala zeigt. Die untere Schneide c wird mit dem Arme i durch den Erhitzungsapparat oder, wenn dieser herausgenommen ist, durch einen an dem Träger befindlichen Stift gehalten. Der Erhitzungsapparat selbst ruht auf der Mikrometerschraube g, und diese wieder erhält eine feste Lage durch den Schieber p, welcher auf dem dreiseitigen Stahlprisma r mit der Mikrometerschraube in längeren oder kürzeren Entfernungen zum Fühlhebel verstellbar ist, um auch andere Körper als den Erhitzungsapparat einschalten zu können. Das zu untersuchende Stäbchen a wird in das Messingrohr b gesenkt, welches unten durch ein auf beiden Seiten konisch ausgehöhltes Elfenbeinstück fest verschlossen ist. Oben passt locker eine Messinghülse mit Elfenbeineinsatz hinein, deren konische Vertiefung die obere Spitze des Stabes berührt, während die Erhöhung in eine entsprechende Vertiefung der Schneide c hineinpasst. Mit dem Rohr steht unten eine kreisförmige, messingne Scheibe in fester Verbindung, während oben eine ihr ähnliche auf dasselbe geschraubt werden kann. Zwischen beiden Scheiben ist ein Cylinder aus



Glas vermittelst zwischengelegter Gummischeiben dampfdicht festgepresst. Zur Erwärmung wird Wasserdampf angewendet, welcher durch einen Schlauch durch das am unteren Boden befindliche Loch d in den cylindrischen Hohlraum geleitet werden kann. Hier umspült er den inneren Cylinder und kann durch die obere Öffnung e entweichen, während das durch Condensation erzeugte Wasser durch das unten im Boden befindliche Loch f abfliesst. Dehnt sich nun das Stäbchen a aus, so wird die untere Schneide c in die Höhe gehoben und dadurch eine Drehung des Fühlhebels k um die Schärfe der oberen Schneide l bewirkt. Eine ausserordentliche Empfindlichkeit wird dadurch erreicht, dass zwei gleich grosse Stahlplättchen m, n in das untere Ende des Fühlhebels eingesetzt und mit einer langen Schraube nebst Laufgewicht verbunden sind. (Die obere Ansicht des Fühlhebels wird in der Nebenfigur dargestellt.) Die Platten sind mit viereckigen Ausschnitten versehen, derart, dass an drei Seiten der Schnitt senkrecht heruntergeht, während er an der vierten Seite schräg nach innen zu geführt ist, alsdann sind die Platten so aufeinandergelegt, dass die beiden schrägen Stücke in eine Ebene fallen. In den Ausschnitt der unteren Platte ragt die untere Schneide hinein und berührt die untere Fläche der oberen Platte, so dass diese auf ihr ruht. In entsprechender Weise berührt die obere Schneide die untere Platte, welche durch das Laufgewicht gegen sie gedrückt wird. Bei einer Bewegung des Hebels durch Hebung der Schneide wird also der kürzere Hebelarm durch die Entfernung beider Schneiden gebildet. Dieser kann dadurch, dass die obere Schneide l vermittelst der Schraube o gestellt wird, sehr klein gemacht werden.

Bewegt sich nun bei Ausdehnung des Stäbchens der Zeiger, welcher im Anfange auf 0 eingestellt ist, nach unten, so wird durch entsprechende Drehung der Mikrometerschraube der ganze Erhitzungsapparat gesenkt und so der Zeiger immer auf 0 erhalten. Bleibt nach Verlauf einiger Zeit der Zeiger in Ruhe, so hat das Stäbchen die constante Temperatur angenommen. Die Grösse der Drehung kann nun an der auf dem Rande der Mikrometerschraube befindlichen Kreisteilung abgelesen und dadurch die Grösse der Ausdehnung berechnet werden. — Messende Versuche mit diesem Apparat sind von P. Glatzel angestellt und in *Pogg. Ann. Bd. 160, S. 497* beschrieben worden.

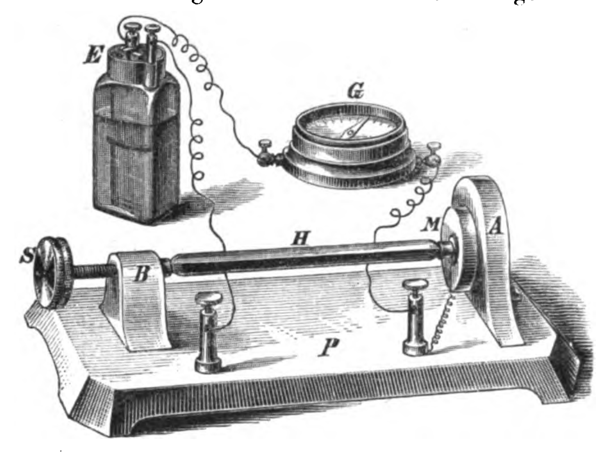
Der so empfindliche Fühlhebel des Apparates lässt sich auch zur Demonstration interessanter Biegungserscheinungen anwenden. Lässt man z. B. einen Druck von nur wenigen Grammen auf das obere Ende des massiven Trägers einwirken, so überrascht es zu sehen, dass hierdurch wirklich eine Biegung des Trägers und so auch der 4 Centimeter dicken Eisensäule stattfindet.



Edison's Mikro-Tasimeter

von E. Seybold's Nachfolger in Cöln.

Das Mikro-Tasimeter ist das empfindlichste Instrument, um minimale Änderungen des Druckes oder der Temperatur nachzuweisen. Es besteht aus einer messingenen Fussplatte mit zwei Trägern, welche in einem Stück gegossen und dadurch ganz stabil sind. Der grössere dieser beiden Träger ist mit einer mikrophonähnlichen Einrichtung versehen; diese besteht in einer Kohlenscheibe, welche in eine Vulkanitplatte eingesetzt ist und mit dem Träger in leitender Verbindung steht, während sich an ihrer, dem anderen Träger zugewendeten Seite eine bewegliche Metallplatte mit kleiner Vertiefung befindet. Der kleinere Träger ist mit einer Stellschraube versehen, welche ebenfalls eine Vertiefung hat. In diese Vertiefungen kann ein Hartgummi- oder auch ein Gelatinestäbchen gelagert werden. Die Kohlenscheibe wird in den Stromkreis eines Leclanché-Elementes mit eingeschaltetem Galvanometer eingeschlossen. Befindet sich das Hartgummistäbchen in den Vertiefungen und nähert man ihm eine warme Hand, so dehnt es sich aus, die bewegliche Platte stellt einen innigeren Contakt her und das Galvanometer zeigt einen Ausschlag von etwa 30°. Da das verwandte Galvanometer nur wenige Drahtwindungen und eine einfache Magnetnadel hat, so ist die Empfindlichkeit des Mikro-Tasimeters eine weit grössere, als die der Melloni'schen Thermosäule. Wird an Stelle des Hartgummistäbchens ein Gelatinestäbchen und in dessen Nähe ein angefeuchteter Papierstreifen gebracht, so dehnt sich das Stäbchen aus und das Galvanometer zeigt einen gleichen Ausschlag. Der Apparat ist daher auch geeignet, die Gegenwart von Feuchtigkeit anzuzeigen, sowie die Ausdehnung, welche gewisse Körper durch Feuchtigkeit erleiden.



Correspondenz.

Lb. — Die Roscoe'sche Rede über die Entwicklung der Chemie in den letzten 50 Jahren (Heft II S. 83) ist zuerst in der englischen Zeitschrift *Nature*, ***36***, *416* *(1887)* veröffentlicht worden. Eine fast vollständige Übersetzung der Rede findet sich in der „*Naturwissenschaftlichen Rundschau*“ von Dr. Sklarek, *No. 49 und 50 (3. und 10. Dezember)*, *1887*.

C. M. — Der Apparat von Bergmann (Heft I, S. 25) wird von dem Mechaniker G. Thiele (H. Belling's Nachf.) in Greifswald angefertigt.

T. — Zur Herstellung von Seifenlösung für Plateau's Versuch, Newton'sche Farbenringe u. s. w. giebt Pfaundler in Anlehnung an Plateau das nachstehende Rezept *(Lehrbuch, 9. Aufl. I, 425)*: 25 g Marseiller Seife werden in 1 l destillierten Wassers bei gelinder Wärme gelöst, filtriert und dem Filtrat 666 g Glycerin zugesetzt. Der sich allmählich bildende Niederschlag steigt nach 8 bis 12 Tagen in die Höhe, so dass die darunter befindliche Flüssigkeit mittels eines Hebers abgezogen werden kann.

Für die Darstellung schwebender Seifenblasen, die sich Tage lang halten, ist von A. Schuller *(Wied. Ann.* ***19***, *254; 1883)* auch das folgende Verfahren empfohlen worden: Schmierseife (Kaliseife) wird auf Glasplatten in dünne Schichten zerteilt und lange Zeit an der Luft getrocknet, dann nach erfolgtem Zerbröckeln mit der zum Bedecken erforderlichen Menge von absolutem Alkohol übergossen und in der Kälte digeriert. Die filtrierte Lösung kann beliebig lange aufbewahrt werden und giebt mit der vierzigfachen Menge einer 10procentigen Glycerinlösung eine sehr gute Mischung. Wird diese trübe, so muss sie filtriert werden. — Diesem ähnlich ist das Verfahren, welches Weinhold in der 2. Auflage der „*Phys. Dem.*“ als zuverlässig beschreibt: Reine Ölseife wird in zarte Späne geschabt, in ganz gelinder Wärme getrocknet und durch leichtes Reiben zwischen den Händen in Pulver verwandelt; 20 g davon werden mit 400 cm Glycerin (sp. G. 1,135) 1 bis 2 Stunden lang im Wasserbade auf 24—25° C. erhalten und dann durch ein Faltenfilter wiederholt filtriert, bis das Filtrat klar wird. Das Glycerin stellt man durch Mischung von 12 Vol. käuflichem Glycerin mit 13 Vol. destilliertem Wasser her.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Otto Lange in Berlin C.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

I. Jahrgang. April 1888. Viertes Heft.

Töpler's Vorlesungsapparat zur Statik und Dynamik starrer Körper.

Von

Dr. **R. Hennig** in Dresden.

Vorbemerkung von Prof. A. Töpler.

In Folge einer kurzen Notiz über den Apparat im Tageblatte der 60. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte wurde ich von dem Herausgeber dieser Zeitschrift um Einsendung einer ausführlichen Mitteilung ersucht. An einer eigenhändigen Beschreibung, welche ich unter anderen Umständen sehr gern geliefert hätte, war ich durch Krankheit verhindert; Herr Dr. Hennig hatte daher die Güte, die Mitteilung an meiner Stelle nach meinen Angaben zu verfassen. Der Apparat hat mir schon seit zehn Jahren in den Vorlesungen gute Dienste geleistet. Seine Construktion entstand aus dem Wunsche, in der experimentellen Behandlung einzelner Abschnitte der Elementarmechanik weiter gehen zu können, als es mit Parallelogrammmaschine, Hebelmodell, schiefer Ebene, Fallmaschine und Pendel zu geschehen pflegt, und hierzu ein einziges, möglichst bequemes Hülfsmittel zu besitzen. Der im Grunde genommen ganz einfache Apparat eignet sich zunächst für die Veranschaulichung der Fundamentalsätze, welche auf ein sogenanntes in der Ebene frei bewegliches starres System, in dessen Ebene Kräfte wirken, Bezug haben. Jedoch lassen sich auch leicht die wichtigsten Gleichgewichtsfälle bei räumlicher Kräfteverteilung erläutern. In der Beschreibung sind die lehrreichsten Experimente in sachlicher Anordnung kurz dargestellt. Der Fachleser wird leicht erkennen, wie dieselben eventuell zu modifizieren oder zu vervollständigen wären, und wie bei strenger Behandlung der Bewegungserscheinungen die Massen der Laufrollen, der spannenden Gewichte u. s. w. in Rechnung zu ziehen sind. Die praktische Handhabung des Apparates erfordert ein wenig Übung.

I. Beschreibung des Apparates.

Der Apparat[1]) besteht im wesentlichen aus einer schweren, gusseisernen Kreisscheibe (*a*, Fig. 2), deren Unterfläche möglichst eben abgeschliffen ist, und die vermittelst dreier genau gleich grosser Hartbroncekugeln, von denen in der Figur nur zwei (*b*) sichtbar sind, auf einer gleichfalls eben abgeschliffenen horizontalen Unterlagsplatte (*ded*) ruht, so dass sie mit sehr wenig Reibungswiderstand auf dieser Unterlagsplatte frei beweglich ist, wie etwa ein schwimmender Körper auf einer Flüssigkeitsoberfläche. Die Unterlagsplatte muss mittelst einer feinen Libelle genau horizontal gestellt werden, damit die Scheibe der direkten Einwirkung der Schwerkraft entzogen ist. An der Oberfläche der beweglichen Scheibe sind, wie aus Fig. 1 zu ersehen ist, konische Löcher angebracht, in denen durch Gewichte gespannte Fäden befestigt werden können, welche die auf die Scheibe

[1]) Fig. 1 giebt eine perspektivische Ansicht des ganzen, für einen bestimmten Versuch eingestellten Apparates, Fig. 2 einen Vertikalschnitt durch die Hauptbestandteile desselben. Die der folgenden Beschreibung eingefügten Buchstaben beziehen sich auf Fig. 2.

wirkenden Kräfte darstellen. Die Befestigung geschieht sehr rasch und sicher mittelst kleiner konischer Stöpsel, von denen einer bei *i* unter Fig. 2 etwas grösser abgebildet ist. Um den verjüngten Hals des Stöpsels wird der Faden (*k*) mit einer Schlinge gelegt und mittelst Leitrolle (*h*) und Gewicht gespannt. Für das Centrum der Gusseisenscheibe ist ein besonderer, etwas grösserer Stöpsel vorhanden.

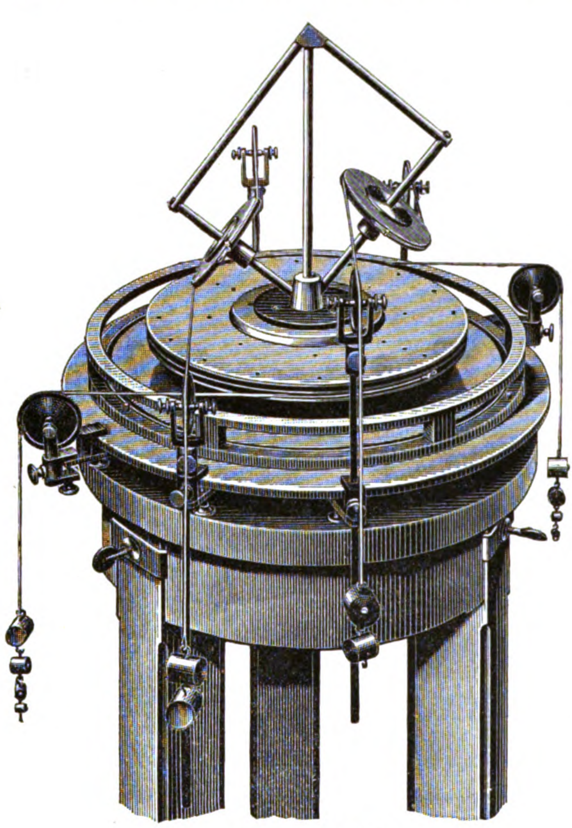


Fig. 1 (1/9 nat. Gr.)

In den Rand der beweglichen Scheibe sind zwei rechteckige Rillen eingedreht, in welche vermittelst hervorragender Stiftchen gleichfalls belastete Fäden eingelegt werden können, die dann auf die Scheibe constante Drehmomente ausüben. Die Mitte der Scheibe ist durchbohrt; durch diese Öffnung kann ein Centrierungsstift *(f)* in eine correspondierende Öffnung der Unterlagsplatte eingesteckt werden, so dass die Scheibe nur noch Drehbewegungen um ihren Mittelpunkt ausführen kann. Vermittelst einer an der Unterlagsplatte angeschraubten Klammer (Fig. 5), deren hervorragendes Ende mit einem Stift in ein Loch der Scheibe eingreift, kann ein zweiter Punkt fixiert werden, wodurch nunmehr starre Verbindung der Scheibe mit der Unterlagsplatte besteht. Diese starre Verbindung lässt sich auch ohne Benutzung des Centrierungsstiftes mit Hülfe einer zweiten derartigen Klammer, wie Fig. 5, herstellen. Eine starre Befestigung der Scheibe wird meistens zur Vorbereitung der einzelnen Versuche notwendig oder doch zweckmässig sein.

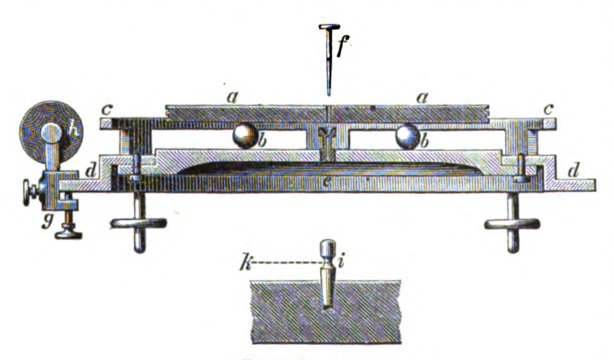


Fig. 2 (1/9 nat. Gr.)

Die Unterlagsplatte ist gleichfalls aus Gusseisen hergestellt und besteht aus zwei durch Schrauben verbundenen concentrischen Teilen, deren innerer sorgfältig eben abgeschliffen ist[2]). In der Mitte (bei *e*, Fig. 2) ist ein konisch ausgebohrter Messingcylinder eingeschraubt, der als Lager für den Centrierungsstift *(f)* dient, und dessen oberer Teil trichterförmig

---

[2]) Bei dem im Besitze des hiesigen Polytechnikums befindlichen, in Fig. 1 abgebildeten Apparate ist die Unterlagsplatte aus einem Stücke gegossen, doch ist durch die hierdurch bedingte Schwierigkeit des Schliffes der Apparat wesentlich verteuert worden.

ausgeweitet ist, um ein leichteres Centrieren zu gestatten. Die Unterlagsplatte ist mit einer geländerartigen Umrandung (*c*) versehen, welche die Bewegung der Kreisscheibe begrenzt, aber den Zwischenraum zwischen Scheibe und Platte bequem zugänglich lässt. Die obere Fläche dieser Umrandung trägt eine von 5 zu 5 Graden fortschreitende Kreisteilung, das untere Ende läuft in eine horizontale Flansche (*d*) aus, auf welcher die Leitrollen (*h*) für die belasteten Fäden durch Schraubzwingen (*g*) befestigt werden. Die ganze Unterlagsplatte lässt sich endlich vermittelst dreier in den Randteil eingefügter Fussschrauben auf einem soliden Tisch oder Stativ genau horizontal stellen.

Ausser den geschilderten Hauptteilen gehören zum Apparate folgende Nebenbestandteile:

A) Eine Anzahl von leicht gearbeiteten Leitrollen (*h*, Fig. 2) aus Rotguss zur Führung der belasteten Fäden. Dieselben werden mit Schraubzwingen (*g*) am Rande der Unterlagsplatte befestigt und sind frei um eine horizontale Axe, ausserdem aber auch nach Lüftung einer Schraube um eine vertikale Axe in der Zwinge drehbar, so dass sie sich für beliebige Richtung der Fäden einstellen lassen. Im Bedarfsfalle lassen sie sich vermittelst in die Schraubzwingen eingefügter vertikaler Verlängerungsstangen (siehe Fig. 3) in beliebiger Höhe, sowie mit Hülfe horizontaler eiserner Schienen (Fig. 4), die dann ihrerseits am Rande der Unterlagsplatte (bei *d*, Fig. 2) festgeschraubt werden, in grösserem Horizontalabstande am Apparate befestigen.

Fig. 3.

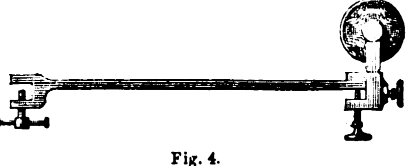


Fig. 4.

B) Zwei Klammern aus Messing (Fig. 5), die am Geländer des Apparates (*c*, Fig. 2) festgeschraubt werden, und deren hervorragendes Ende mit dem daselbst befindlichen Stifte in ein Loch der Kreisscheibe eingreift, um die früher erwähnte starre Verbindung der Scheibe mit ihrer Unterlage bewirken zu können.

Fig. 5.

C) Zwei eiserne Lenkerstangen (Fig. 6), die den Zweck haben, der Kreisscheibe Zwangsführungen zu erteilen, so dass dieselbe nur noch ganz bestimmte Bewegungen ausführen kann. Diese Lenkerstangen sind am einen Ende um vertikale Axen drehbar, die mit Schraubzwingen am Rande der Unterlagsplatte befestigt sind; das andere Ende greift mit einem drehbaren Stifte in ein Loch der Kreisscheibe ein.

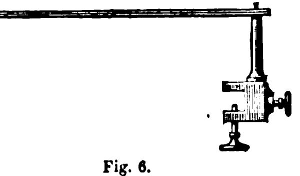


Fig. 6.

D) Einige Kreisscheiben aus hartem Holz mit ausgekehltem Rande, die, auf die bewegliche Scheibe in horizontaler Lage aufgesteckt, die Anbringung von Kräftepaaren (Drehzwillingen) mit constanten Drehmomenten gestatten, wie z. B. in Fig. 13 und 14. Die Mitte dieser Holzscheiben ist durchbohrt, um den Centrierungsstift (*f*, Fig. 2) durchzulassen.

E) Ein vertikaler eiserner Aufsatz, welcher den Zweck hat, die räumliche Zusammensetzung von Kräftepaaren zu demonstrieren. Dieser Aufsatz ist in Fig. 1 in Verbindung mit dem Apparate abgebildet. Er besteht im Wesentlichen aus einem Parallelogramm aus Eisenstäben, auf dessen beiden Seiten sich gleich grosse Kreisscheiben aus Hartgummi zwar nicht drehen, wohl aber mit Stift und Nuth

verschieben lassen, um die Ebenen der wirkenden Kräftepaare parallel verrücken zu können. Eine eben so grosse dritte Hartgummischeibe ist unten am Aufsatze senkrecht zur Diagonale des Parallelogrammes befestigt. Der Aufsatz passt mit zwei Stiften in zwei konische Löcher der Gusseisenscheibe, wodurch die feste Verbindung mit dieser hergestellt ist.

F) Eine entsprechende Anzahl von Gewichtsstücken, von denen jedes, wie aus Fig. 1 zu ersehen, mit zwei Haken versehen ist, so dass dieselben an einander gehakt und in beliebigen Gruppen gemeinschaftlich an die Fäden gehängt werden können.

G) Eine aus zwei Teilen bestehende Holzzange (Fig. 7), deren Verwendung sogleich geschildert werden soll.

Um bei der exakten Demonstration dynamischer Gesetze auch die Masse, beziehentlich das Trägheitsmoment der Hartbroncekugeln mit in Rechnung ziehen zu können, ordnet man die letzteren zweckmässig so an, dass sie im centrierten Systeme ein gleichseitiges Dreieck bilden, dessen Mittelpunkt im Centrum des Systems liegt. Diese Anordnung wird mit Hülfe der eben erwähnten Holzzange sehr bequem in folgender Weise vollzogen. Man legt die Scheibe zunächst auf die ungeordneten Kugeln auf, centriert sie und verbindet sie starr mit der Unterlagsplatte, so dass sie sich nur noch ein wenig lüften lässt. Dann ergreift man mit der seitlich in den Apparat eingeführten Zange eine der Kugeln, so dass dieselbe in die Höhlung bei x (Fig. 7) zu liegen kommt, stellt die Marke z des rechten Zangenschenkels auf einen bestimmten Teilstrich des linken ein, und verschiebt nun die Kugel unter Lüften der Scheibe so, dass die vordere Gabel y des linken Zangenschenkels den in der Mitte der Platte befindlichen Messingcylinder (e, Fig. 2) umfasst, während derselbe Schenkel sich an einen Stab des Randgeländers anlegt. Dann hat die Kugel einen ganz bestimmten, durch die Einstellung der Marke z gegebenen Abstand vom Centrum. Ebenso verfährt man mit den übrigen Kugeln. Da die Stäbe des Randgeländers in Abständen von je 60 Graden auf einander folgen, ist es leicht, auf die beschriebene Weise ein gleichseitiges Dreieck zu erhalten.

Fig. 7.

Es sei noch erwähnt, dass die in der Gusseisenscheibe zum Einstöpseln der Zugkräfte angebrachten Löcher nach einem gewissen, angemessenen Systeme angeordnet sind. Damit die Kraftrichtungen in der Ferne gut sichtbar sind, bestehen die Fäden aus weichgedrehter, starker, weisser Seidenschnur. Dass die bewegliche Gusseisenscheibe eine grosse Masse (etwa 14 kg) hat, ist für das sichere Gelingen derjenigen Versuche, welche für das Studium von Bewegungserscheinungen dienen sollen, notwendig.

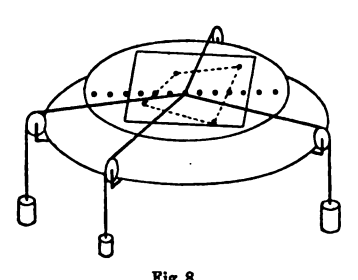
II. Experimente.

A. Gleichgewichtserscheinungen bei freier Beweglichkeit in der Ebene.

1. Satz vom ebenen Kräftepolygon.

Diesen wichtigsten Fundamentalsatz der Statik demonstriert man mit dem Apparate am einfachsten in folgender Weise: Man zeichnet sich das Kräftepolygon auf ein Blatt Papier auf und befestigt dieses mit etwas Klebwachs auf der mittelst der Klammern (Fig. 5) mit ihrer Unterlage starr verbundenen Gusseisenscheibe. Dann steckt man (Fig. 8) in denjenigen Punkt der Scheibe, welcher den gemein-

samen Angriffspunkt der Kräfte darstellen soll, etwa den Mittelpunkt, durch das zu diesem Zwecke durchlochte Papierblatt hindurch einen Stöpsel ein und legt um denselben die Schlingen der die Kräfte darstellenden belasteten Fäden. Durch Verschieben der Leitrollen richtet man diese Fäden parallel zu den Seiten des Polygons, und macht die Belastungen proportional den Längen der entsprechenden Polygonseiten. Löst man dann die starre Verbindung zwischen der Scheibe und der Unterlagsplatte, so bleibt die erstere im stabilen Gleichgewicht.


Fig. 8.

Um den Parallelismus zwischen den Kraftrichtungen und den Polygonseiten rasch und sicher zu treffen, zeichnet man sich vorher auf dem Papierblatte durch den Angriffspunkt Parallelen zu den Polygonseiten, schneidet diesen Punkt kreisförmig aus und stöpselt durch den Ausschnitt hindurch die Kraftrichtungen fest. Letztere müssen sich dann mit den Linien auf dem Papierblatte decken.

Man kann bei diesem oder einem andern Gleichgewichtsversuche zugleich zeigen, dass am starren Körper der Angriffspunkt einer Kraft in der Kraftrichtung beliebig verlegt werden kann ohne Störung des bestehenden Gleichgewichts. Die Löcher zum Feststöpseln der Kräfte sind nämlich reihenweise in gleichen Abständen auf mehreren Durchmessern der Scheibe angeordnet. Man dreht die Scheibe (Fig. 8) so, dass eine Lochreihe mit einer der Kraftrichtungen zusammenfällt, hält die Scheibe fest und stöpselt die Kraft in ein beliebiges Loch der Reihe; nach dem Loslassen der Scheibe besteht jedesmal Gleichgewicht.

2. Gleichgewicht paralleler Kräfte.

Man stöpsele die parallelen Kräfte so ein, dass die Summe ihrer Momente in Bezug auf einen bestimmten Punkt der Scheibe, am bequemsten den Mittelpunkt, Null wird (entgegengesetzt drehende Momente natürlich mit entgegengesetzten Vorzeichen eingeführt). Durch diesen Punkt muss dann die Richtung der resultierenden Kraft gehen, deren Grösse gleich der Summe aller Parallelkräfte ist. Eine dieser Summe entsprechende Gewichtsgrösse, am Faden S (Fig. 9) angebracht, hebt die Resultierende auf, bewirkt also Gleichgewicht. Man zeigt, dass mit Bezug auf irgend einen Punkt der Scheibe das Moment der Resultierenden gleich der Summe der Momente der Componenten ist. Für die rasche Übersicht der Kraftmomente ist es zweckmässig, die Scheibe so einzustellen, dass eine ihrer diametralen Lochreihen (ab in Fig. 9), welche als Skala dienen kann, senkrecht zur Richtung der Parallelkräfte steht. Andernfalls kann man die betreffenden Abstände mit einem kleinen Handmaassstabe messen.

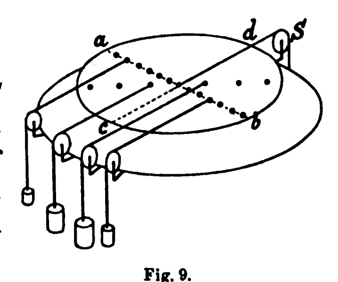


Fig. 9.

3. Mittelpunkt paralleler Kräfte.

Wählt man im vorigen Beispiel die Angriffspunkte der gegebenen Kräfte so, dass bei einer Drehung des Kräftesystems um 90°, wobei die Lage der Angriffspunkte selbstverständlich unverändert bleiben muss, die Momentensumme in

Bezug auf das Centrum der Scheibe wiederum Null wird, welcher Fall in Fig. 9 angenommen ist, so bildet das Scheibencentrum zugleich den sogenannten Mittelpunkt des Systems der Parallelkräfte. Die charakteristische Eigenschaft dieses Kraftmittelpunktes wird experimentell sehr anschaulich. Mag man bei festgehaltener Scheibe und unveränderten Angriffspunkten das Parallelkraftsystem um irgend einen Winkel (durch Verschieben der Leitrollen) drehen, immer wird die Resultierende durch jenen Mittelpunkt gehen, d. h. immer wird eine gleich grosse Winkeldrehung des Fadens S genügen, um an der freibeweglichen Scheibe das Gleichgewicht wieder herzustellen. Auch zeigt sich, dass bei Stöpselung des Fadens S im Centrum das Gleichgewicht ein indifferentes ist, während das Gleichgewicht labil oder stabil wird, falls die Stöpselung diesseits oder jenseits der Mitte auf dem Durchmesser cd stattfindet.

4. Gleichgewicht von Kräftepaaren in der Ebene.

Paare von antiparallelen, gleich grossen Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten — sogenannte Kräftepaare oder Drehzwillinge — lassen sich an der beweglichen Scheibe in der Horizontalebene leicht anbringen. Man kann zeigen, dass die drehende Wirkung eines Kräftepaares nur von der Grösse der Kräfte und der Grösse ihres senkrechten Abstandes, nicht von ihrer Richtung und ihren Angriffspunkten abhängt, da zwei Kräftepaare sich an der Scheibe stets Gleichgewicht halten, wenn überhaupt das Produkt jener beiden Grössen — das sogenannte Drehmoment — übereinstimmt und ihr Drehsinn zugleich entgegengesetzt ist, mögen die Paare sonst wie immer in der Horizontalebene gelegen sein. Auch lässt sich zeigen, dass beliebig viele Kräftepaare sich im Gleichgewichte halten, wenn die Summe ihrer Momente Null ist (entgegengesetzt drehende Momente wieder mit entgegengesetzten Vorzeichen eingeführt). Die Ausführung der Versuche bedarf keiner speciellen Beschreibung. Zum Parallelrichten der Fäden benutzt man hier wie bei anderen Versuchen mit Vorteil ein sogenanntes Parallellineal (aus zwei Linealen in beweglicher Parallelogrammverbindung bestehend).

5. Zusammensetzung von Kräftepaaren im Raume *(Satz vom Parallelogramm der Kräftepaare).*

Zur Demonstration der Gesetze räumlicher Kräftepaare dient der früher unter E, (S. 109) beschriebene, in Fig. 1 in Verbindung mit dem Apparate abgebildete Parallelogrammaufsatz. Mit Hülfe von Leitrollen, die in der früher geschilderten Weise in beliebiger Höhe am Apparate zu befestigen sind, lassen sich an den beiden geneigten, gleichgrossen Hartgummischeiben des Aufsatzes antiparallele, belastete Fäden anbringen (s. Fig. 1), welche auf die bewegliche Scheibe bestimmte Kräftepaare ausüben. Die Belastungen werden den Längen der zugehörigen Parallelogrammseiten proportional gewählt. Diese Seiten stellen daher bei dem in Fig. 1 angenommenen Drehsinne die sogenannten Axen der Kräftepaare dar. Die Diagonale ist die Axe des resultierenden Kräftepaares Wählt man, wie in der Figur, ein Rechteck mit den Seiten 3 und 4 (Diagonale 5), so kann man in der That das System durch zwei antiparallele Kräfte von der Grösse 5 äquilibrieren, welche man im Sinne der Uhrzeigerdrehung am Rande der dritten (horizontalen) Hartgummischeibe wirken lässt. In der Figur ist anstatt dieser Kräfte ein anderes Paar mit gleichem Moment, am Rande der Gusseisenscheibe wirkend, abgebildet.



Man kann wegen der Verschieblichkeit der Hartgummischeiben auch zeigen, dass das Gleichgewicht nicht gestört wird, wenn die Ebenen der Seitenpaare parallel längs der Parallelogrammseiten beliebig verschoben werden.

6. Die Gleichgewichtsbedingung für Kräftepaare im Raume

lässt sich mit Bezug auf die horizontal bewegliche Scheibe in zweifacher Weise ausdrücken: Die Projektionen der Kräftepaare auf die Bewegungsebene müssen die Momentensumme Null ergeben, oder: die Axe des resultierenden Paares muss in die Bewegungsebene fallen. Letztere Form der Gleichgewichtsbedingung lässt sich mit demselben Parallelogrammaufsatze, Fig. 1, veranschaulichen. Man lasse an der längeren Parallelogrammseite das Paar von der Grösse 3, an der kürzeren das Paar von der Grösse 4, letzteres zugleich mit entgegengesetztem Drehsinne, wirken, so besteht am Apparate ohne weiteres Gleichgewicht, da nun in der That die Axe des resultierenden Paares in die Plattenebene fällt.

7. Gleichgewicht beliebiger Kräfte im Raume.

Der Apparat gestattet auch, die allgemeinste Bedingung zu demonstrieren, unter welcher ein in einer Ebene frei beweglicher Körper unter dem Einflusse beliebig gerichteter, in beliebigen Punkten angreifender räumlicher Kräfte im Gleichgewicht ist. Man stöpsele hierzu in der in Fig. 11 angedeuteten Weise in verschiedenen Punkten der Scheibe belastete Fäden fest, deren Richtungen gegen die Ebene der Scheibe geneigt sind. Trägt man dann die Grössen der Kräfte von ihren Angriffspunkten aus als Strecken auf die Fäden auf und projiziert diese Strecken vermittelst kleiner angehängter Lote in die Bewegungsebene, so zeigt sich, dass Gleichgewicht besteht, wenn die sämtlichen Kraftprojektionen, auf einen gemeinsamen Angriffspunkt bezogen, ein geschlossenes Kräftepolygon und ihre Momente in Bezug auf irgend einen Punkt der Ebene die Summe Null ergeben.

8. Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten.

Dieses Prinzip kann bequem durch eine kleine Modifikation des Versuchs 2 veranschaulicht werden. Man bringe die parallelen Kräfte p und q und die der Resultierenden entgegengesetzte Kraft s in der aus Fig. 10 ersichtlichen Weise mittelst um den Rand der Gusseisenscheibe und einer central aufgesteckten kleineren Holzscheibe gewickelter Fäden am Apparate an. Das Kräftesystem wird nicht geändert, wenn man die bewegliche Scheibe parallel der Fadenrichtung beliebig verschiebt oder sie beliebig um den Mittelpunkt dreht, wobei sich die Fäden ab- oder aufwickeln. Man kann dann zeigen, dass die bei diesen nach der Natur des Systems „erlaubten“ Bewegungen auftretenden virtuellen Arbeiten die Gleichgewichtsbedingungen ergeben. Verschiebt man die Scheibe

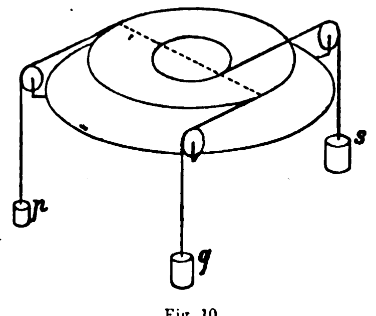


Fig. 10.

im Sinne von s um die Strecke a, so ist die algebraische Summe der Arbeiten $sa - pa - qa = 0$ zu setzen, woraus $s = p + q$ folgt. Verdreht man das System im Sinne von s um den Winkel α, so muss, wenn R und r die Radien der beiden Scheiben bezeichnen: $sr\alpha + pR\alpha - qR\alpha = 0$ sein, woraus mit Rücksicht auf die vorherige Gleichung folgt: $p : q = (R - r) : (R + r)$. Es sind also die Gleichgewichtsbedingungen aus dem Prinzipe abgeleitet.

B. Gleichgewichtserscheinungen bei Zwangsbewegungen.

9. Gleichgewicht beliebiger Kräfte an einem um eine feste Axe drehbaren Körper *(verallgemeinertes Hebelgesetz).*

Um gleich den allgemeinsten Fall, dass die wirkenden Kräfte beliebige Lage im Raume haben, zu demonstrieren, verbinde man die bewegliche Scheibe (Fig. 11) zunächst mittelst Centrierungsstift und einer Randklammer starr mit ihrer Unterlage und stöpsele zwei Kräfte unter beliebigen Neigungswinkeln an der Scheibe fest. Löst man dann die Randklammer, so dass die Scheibe um den Centrierungsstift drehbar wird, so findet Gleichgewicht statt, sobald die Projektionen der gegebenen Kräfte auf die Bewegungsebene entgegengesetzt gleiche Drehmomente um die feste Axe ergeben. Diese Projektionen bestimmt man wie im Versuch 7, indem man die Grössen der Kräfte als Strecken auf ihren Richtungen im Raume aufträgt und die Endpunkte dieser Strecken vermittelst kleiner, mit federnden Klemmen an den gespannten Fäden befestigter Pendelchen in die Bewegungsebene herablotet, wobei zugleich, ähnlich wie bei Versuch 1, die geometrische Darstellung auf einem Papierblatte zu Hülfe genommen werden kann.

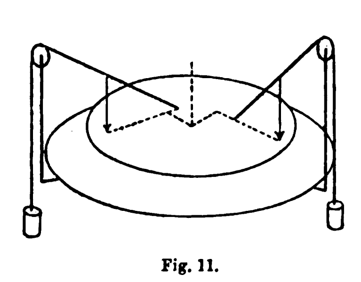


Fig. 11.

10. Gleichgewicht zweier Kräfte an einem nur in einer festen Richtung verschieblichen Körper *(schiefe Ebene).*

Befestigt man die beiden, unter C (S. 139) beschriebenen und in Fig. 6 abgebildeten Lenkerstangen am Apparate (Fig 12), so dass das eine Ende jeder Stange um eine feste Axe drehbar ist, das andere in ein Loch der Scheibe eingreift, so erteilt jede Stange ihrem Angriffspunkte an der Scheibe eine Zwangsführung auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der festen Drehaxe der Stange liegt. Macht man die Richtungen der beiden gleich langen Lenkerstangen einander parallel, so wird die Führung eine sogenannte P a r a l l e l f ü h r u n g; es sind dann in jedem Augenblicke die Bewegungsrichtungen sämtlicher Punkte der Scheibe einander parallel, nämlich senkrecht auf der augenblicklichen Richtung der Lenkerstangen. Stöpselt man nun zwei Kräfte in beliebigen Punkten der Scheibe fest, so halten sich diese im Gleichgewicht, wenn ihre Projektionen auf die augenblickliche Bewegungsrichtung entgegengesetzt gleich sind.

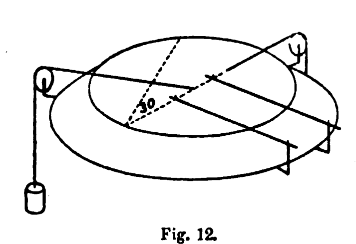


Fig. 12.

In der Figur sind die Angriffspunkte der Lenkerstangen in einen zur Richtung der letzteren senkrechten Durchmesser der Scheibe gelegt, so dass dieser Durchmesser zugleich die augenblickliche Bewegungsrichtung angiebt. Die eine Kraft ist in der Bewegungsrichtung, die andere unter einem Winkel von 60° gegen dieselbe angebracht; dieser Winkel lässt sich sehr bequem an der auf dem Randgeländer angebrachten Kreisteilung ablesen. Die letztere Kraft muss dann das Doppelte der ersteren betragen. Man hat hier die Analogie eines auf einer schiefen Ebene vom Winkel 30° gleitenden Körpers, der durch Zug längs der

Ebene äquilibriert werden soll. — Selbstverständlich können die wirkenden Kräfte auch unter beliebigen Winkeln gegen die Ebene der Kreisscheibe geneigt sein.

11. Zwei Punkten der Scheibe seien bestimmte, nicht parallele Bahnen vorgeschrieben *(Momentancentrum der Bewegung).*

Diese Zwangsbewegung erhält man, indem man die beiden Lenkerstangen derart am Apparat (Fig. 13) befestigt, dass sie einen beliebigen Winkel mit einander bilden. Nun besteht nach bekannten kinematischen Sätzen die einzig mögliche Bewegung der Scheibe in jedem Augenblicke in einer Drehung um einen bestimmten Punkt, das sogenannte Momentancentrum der Bewegung. Dieses Momentancentrum wird in jedem Augenblicke als Schnitt m zweier Senkrechten erhalten, die man in zwei beliebigen Punkten der Scheibe auf den augenblicklichen Bewegungsrichtungen a und b derselben errichtet. Nimmt man nun zu diesen zwei Punkten gerade die Angriffspunkte der Lenkerstangen, so erkennt man sofort, dass bei der vorliegenden Zwangsführung das Momentancentrum in jedem Augenblicke als Schnittpunkt der verlängerten Lenkerstangen erhalten wird.

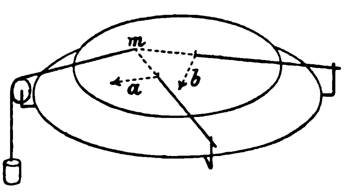


Fig. 13.

Das Momentancentrum hat die bemerkenswerte Eigenschaft, dass eine in ihm angebrachte beliebig grosse und beliebig gerichtete Kraft der Scheibe keine Bewegung zu erteilen vermag. Um dies an dem Apparate zu zeigen, hat man nur die Lenkerstangen so zu richten, dass ihr Schnittpunkt in ein Loch der Scheibe fällt. Vermittelst eines in dieses Loch gesteckten Stöpsels lässt sich die Scheibe in der That nicht bewegen, während jeder andere Punkt derselben dem Drucke der Hand nachgiebt.

Zwei in beliebigen Punkten der Scheibe angreifende Kräfte halten sich im Gleichgewicht, wenn ihre Drehmomente in Bezug auf das Momentancentrum entgegengesetzt gleich sind.

C. Bewegungserscheinungen.

Vorbemerkung. Da im Allgemeinen bei beliebigen Bewegungen der Gusseisenscheibe die Hartbroncekugeln aus verschiedenen Ursachen ihre Lage im System ändern, so müssen sie nach jedem Versuche nötigenfalls neu angeordnet werden. Selbst bei blossen Drehungen um den Mittelpunkt haben sie in Folge der Centrifugalkraft eine Tendenz, nach aussen zu gleiten, und sind deshalb von Zeit zu Zeit zurecht zu rücken.

12. Progressivbewegung bei Angriff einer Kraft im Schwerpunkt.

Eine im Schwerpunkte (Mittelpunkte) der beweglichen Scheibe angestöpselte Kraft verursacht, wenn die Scheibe nach Lösung der starren Verbindung mit der Unterlage zunächst mit den Händen festgehalten und dann vorsichtig losgelassen wird, eine blosse Progressivbewegung ohne Drehung der Scheibe. Wird die Kraft excentrisch angestöpselt, so sieht man Verschiebung und Drehung zugleich.

13. Ein Kräftepaar veranlasst am frei beweglichen Körper nur Drehung um den Schwerpunkt.

Dieser Satz lässt sich zweckmässig an einem Falle veranschaulichen, welcher auf den ersten Blick fast paradox erscheint. Man befestige (Fig. 14) eine der

unter D (S. 139) beschriebenen Holzscheiben central auf der beweglichen Scheibe und wickele einen mit der Kraft q belasteten Faden mehrmals um ihren ausgekehlten Rand; die zweite gleich grosse Kraft p des Kräftepaares stöpsele man im Mittelpunkte der Scheibe an. Lässt man dann die mit den Händen festgehaltene Scheibe vorsichtig los, so dreht sich dieselbe mit wachsender Geschwindigkeit um ihren in Ruhe verbleibenden Mittelpunkt. die Kraft p bewirkt also an ihrem Angriffspunkte keine Beschleunigung, obgleich derselbe frei beweglich ist; sie entspricht gewissermaassen dem Gegendrucke eines Zapfenlagers. Dass der Mittelpunkt der beweglichen Scheibe wirklich in Ruhe bleibt, lässt sich aus der Ferne sehr gut daran erkennen, dass das Gewicht p in gleicher Höhe schweben bleibt, während q zu Boden sinkt.

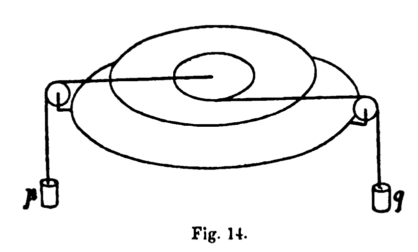


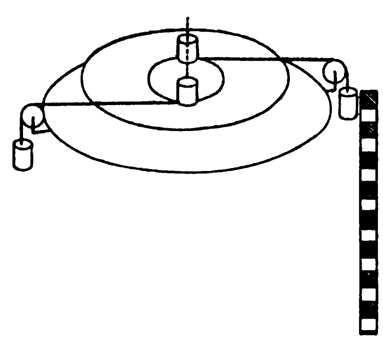
Fig. 14.

Der Versuch erfordert zu seinem Gelingen einen sehr vollkommen ausgeführten und gut eingestellten Apparat und eine ruhige Hand, da alle Fehler im Schliff und der Einstellung, sowie jeder zufällige Impuls, den man der Scheibe beim Loslassen erteilt, eine Progressivbewegung veranlassen.

14. Gleichförmig beschleunigte Drehbewegung *(Analogie der Fallmaschine).*

Man stecke auf die bewegliche Scheibe (Fig. 15) eine kleine Holzscheibe mit doppelt ausgekehltem Rande auf, um welche man, nachdem man die bewegliche Scheibe mit Centrierungsstift und Randklammer starr mit der Unterlage verbunden hat, zwei antiparallele, gleich belastete Fäden wickelt. Löst man dann die Randklammer, so wird die Scheibe um den Centrierungsstift eine gleichförmig beschleunigte Drehbewegung ausführen. Mit Hülfe einer neben einem der sinkenden Gewichte aufgestellten vertikalen Skala lassen sich die folgenden Gesetze dieser Bewegung veranschaulichen:

a) Die von Anfang der Bewegung an durchlaufenen Drehungswinkel verhalten sich wie die Quadrate der Bewegungszeiten — oder, auf die sinkenden Gewichte übertragen: die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten. Um dies zu zeigen, halte man die Scheibe mit den Händen derart fest, dass die obere Kante des Gewichtes gerade neben dem Teilstrich 0 der Skala steht, und lasse in einem bestimmten Augenblick los; die Teilstriche 0, 1, 4, 9 u. s. w. der Skala zeichne man durch dickere Striche aus; die Zeiten markiere man durch die Schläge eines abgeglichenen Metronoms.


Fig. 15.

b) Ändert man das Drehmoment durch Anhängen anderer Gewichte, so ändern sich in demselben Verhältnis die in gleichen Zeiten durchlaufenen Fallräume. Wenn also im früheren Versuch das sinkende Gewicht bei den aufeinander folgenden Metronomschlägen successive die Teilstriche 0, 1, 4, 9 der Skala passierte, so passiert es bei einer Verdoppelung des Drehmomentes successive die Teilstriche 0, 2, 8, 18.

c) Die zum Durchlaufen derselben Fallräume erforderlichen Zeiten verhalten sich umgekehrt wie die Wurzeln der Drehmomente. Wenn also ursprünglich für

das Durchlaufen der Strecken zwischen den Teilstrichen 0, 1, 4, 9... immer je zwei Metronomschläge erforderlich waren, so ist bei einer Vervierfachung des Drehmomentes für das Durchlaufen derselben Strecken immer nur je ein Metronomschlag erforderlich.

Den geringen Reibungswiderstand der Hartbroncekugeln und des Centrierungsstiftes gleicht man dadurch aus, dass man den beschleunigenden Gewichten ein constantes kleiner Übergewicht zufügt, welches man vorher derart abgeglichen hat, dass es die mit der Hand in langsame Rotation versetzte Scheibe gerade in constanter Drehgeschwindigkeit erhält.

Um bei den Versuchen b) und c) die Massen der beschleunigenden Gewichte mit zu berücksichtigen, setzt man die Mehrgewichte, die man denselben bei Änderung des Drehmomentes hinzufügen will, auf den Rand der kleinen Holzscheibe auf, so dass sie an allen Bewegungen mit derselben Geschwindigkeit teilnehmen, wie die sinkenden Gewichte.

15. **Schwingende Drehbewegung** *(Physisches Pendel).*

Befestigt man mit Hülfe der Eisenschienen (Fig. 4) zwei Leitrollen in grösserem Horizontalabstande am Apparate einander diametral gegenüber (Fig. 16), und führt über diese gleich belastete Fäden, die in zwei auf einem Durchmesser *ab* gelegenen, gleichweit vom Centrum entfernten Löchern der Scheibe angestöpselt sind, so stellt dieses System ein physisches Pendel nach Art einer schwingenden Magnetnadel dar, dessen Gleichgewichtslage dadurch bestimmt ist, dass der Durch-

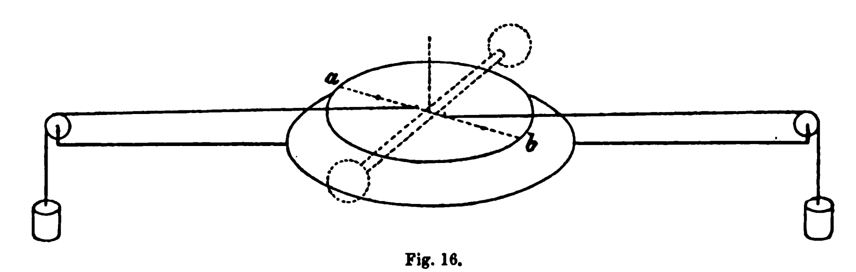


Fig. 16.

messer *ab* in die Verbindungslinie der beiden Leitrollen fällt. Wie im vorigen Falle verwende man den Centrierungsstift, um zufällige Progressivbewegungen der Scheibe zu verhindern. Die Schwingungen der Scheibe lassen sich mittelst aufgesteckter leichter Marken auch auf grössere Entfernungen sichtbar machen. Man kann nun zeigen, dass bei kleinen Amplituden die Schwingungsdauer der Scheibe constant ist, während die Amplituden allmählich abnehmen. Ferner zeigt man, dass die Schwingungsdauer bei einer Änderung des Drehmomentes (durch Anstöpseln der belasteten Fäden in anderer Entfernung vom Mittelpunkte) sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Drehmomenten, und bei einer Änderung des Trägheitsmomentes des schwingenden Systems direkt wie die Quadratwurzeln aus den Trägheitsmomenten verhält.

Um letzteren Satz zu veranschaulichen, ist dem Apparate noch eine Eisenstange mit aufgeschobenen schweren Gewichten beigegeben, deren Trägheitsmoment in Bezug auf eine durch den Mittelpunkt gehende Axe, wie man aus den Dimensionen berechnen kann, gerade das Dreifache des Trägheitsmomentes der schwingenden Scheibe beträgt (von der Masse der Hartbroncekugeln abgesehen). Befestigt man diese Stange mittelst zweier daran befindlicher Stiftchen central auf der

schwingenden Scheibe, so wird bei ungeändertem Drehmomente die Schwingungsdauer derselben verdoppelt.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die Anwendbarkeit des Apparates durch die beschriebenen Experimente nicht erschöpft ist. So hat ihn z. B. Prof. Töpler gelegentlich zur Erläuterung der Tangentenbussole benutzt, und zwar mit der unter No. 15 gegebenen Aufstellung. Es wird nämlich auf dem Durchmesser *ab* noch ein zweites Paar antiparalleler Kräfte eingestöpselt, deren Richtung senkrecht auf derjenigen der bereits vorhandenen steht. Die Scheibe kommt dann unter einem Ablenkungswinkel ins Gleichgewicht, dessen Tangente der Grösse des zweiten Kräftepaares proportional ist. Auch lässt sich mit geeigneten Zuthaten das Gegenwirkungsprincip demonstrieren.

Zu den Versuchen eignet sich am besten ein Auditorium mit ansteigenden Sitzreihen. Wo ein solches nicht zur Verfügung ist, kann man eventuell nach Einstellung des Apparates einen unter 45° geneigten Spiegel dahinter halten, um den Zuhörern die Oberansicht zu gewähren.

Einige der Gleichgewichtsversuche können auf wohlfeilere und einfachere Art auch mit einer auf Wasser schwimmenden Platte angestellt werden, selbstverständlich in weniger vollkommener Weise.

Der beschriebene Apparat wird nach Prof. Töpler's Angaben in dem mechanischen Institute von O. Leuner am Polytechnikum zu Dresden ausgeführt.

Einige Versuche zum Nachweise der Luftverdichtung und -Verdünnung in den Schallwellen.

Von

Dr. **P. Szymański** in Berlin.

Meines Wissens wird in der Schulphysik die Existenz der Luft-Verdichtungen und -Verdünnungen in den Schallwellen nur theoretisch aus dem hypothetischen Bewegungszustande der Luftteilchen erschlossen; ein experimenteller Beweis dafür wird wohl selten geliefert. Diese Lücke lässt sich dadurch erklären, dass es an einfachen Apparaten mangelt, mit denen sich der Beweis für das Vorhandensein jener Luftzustände leicht, sicher und anschaulich liefern liesse. Für die fortschreitenden Schallwellen giebt es wohl keinen derartigen Apparat; die zur Untersuchung der Knotenpunkte und Bäuche in stehenden Wellen construierten, wie die Hopkins'sche Trommel (eine mit Sand bestreute Membran), Koenig's Flammen-Manometer, Maschke's Apparat[1]) (eine Anwendung von Schellbach's Collodium-Membran) zeigen nur an bestimmten Stellen eine grössere, an anderen eine geringere Bewegung der Luft, keineswegs aber beweisen sie direkt das Vorhandensein der Verdichtung und Verdünnung. Der erste ist wohl Kundt gewesen, der mit Hülfe von Ventilen, welche an den Knotenpunkten der Pfeifen angebracht waren, direkt den Druck der Luft untersuchte. Nach dieser Kundt'schen Idee habe ich einen sehr einfachen Apparat zusammengesetzt, mit dem man bei jeder Schallbewegung, sowohl bei fortschreitenden als auch bei stehenden Wellen, die Verdichtungen resp. Verdünnungen nachweisen und die Stärke derselben am Manometer vergleichen kann.

---

[1]) *Wiedemann's Ann. XIII, 204; 1881.*



Beschreibung des Apparates.

Der wesentlichste Teil des Apparates ist ein Blasenventil, das auf Verdünnungen wie Verdichtungen der Luft reagiert und dieselben nach einem Flüssigkeits-Manometer überträgt. Ein sehr schwach konisch abgedrehter, an dem weiteren Ende mit einem kleinen Vorsprung und geripptem Kopf versehenes Messingstäbchen (Fig. 1) ist der Länge nach durchbohrt. Die Öffnung ist an dem schmalen Ende verschlossen durch einen Streifen aus Seidenpapier, welcher etwas breiter als der Durchmesser der Durchbohrung und mit seinen beiden Enden an die diametral gegenüber liegenden, etwas flach abgefeilten Stellen *a*, *b* des Kegels angeklebt ist. Dieser Konus ist nun luftdicht in ein Stück Messingrohr (*FG*) eingeschliffen (Fig. 2), welches ungefähr doppelt so lang ist als der Konus, so dass das Ventil nach der Einschiebung des Konus in der Mitte des Rohres sich befindet. Dieses Rohr ist in der Mitte mit einer am Rande gerippten Verstärkung *C* versehen, die einerseits als Halt für die daraufzuschiebenden Hülsen, andererseits zur bequemen Handhabung des Ventils dienen soll. Über dieses Messingrohr können von beiden Seiten zwei Messinghülsen luftdicht bis an die Verstärkung geschoben werden, von denen die eine (*D*), wie in der Figur 2 angedeutet, mit einem Trichter versehen ist. Die zweite Hülse (*E*) wird entweder direkt durch einen langen Schlauch mit einem U-förmig gebogenen Glasrohr verbunden, dessen Schenkellänge ungefähr 500 cm und innerer Durchmesser 2—3 mm beträgt, oder es wird in dieselbe ein Glasrohr (700—800 cm) eingekittet, welches durch einen Schlauch mit dem U-Rohr in Verbindung steht. (Vgl. Fig. 3.) Das U-Rohr dient als Manometer und wird mit gefärbtem Wasser, oder noch besser mit Alkohol, ungefähr bis zur Hälfte gefüllt. Die Bewegungen der Manometerflüssigkeit sind von weitem sichtbar, besonders wenn man hinter dem Manometer einen weissen Schirm anbringt.

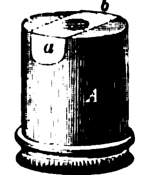


Fig. 1 (²/₁ nat. Gr.)

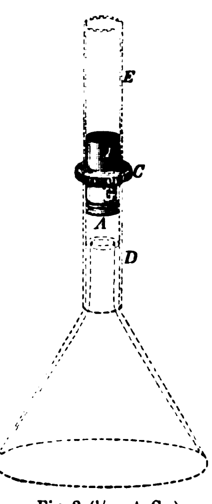


Fig. 2 (¹/₂ nat. Gr.)

Steht nun das Ventil in Verbindung mit dem Manometer und bringt man es in der in Figur 2 abgebildeten Lage (mit oder ohne Trichter) in eine kräftige Schallwelle, so wird, so oft von aussen eine Verdichtung an das Ventil ankommt, dasselbe nach innen geöffnet, und die verdichtete Luft wird die Flüssigkeitssäule in den mit dem Ventil verbundenen Schenkel des Manometers herunterdrücken. Tritt alsdann eine Verdünnung der Luft vor dem Ventil ein, so wird dieses durch den Überdruck der im Innern befindlichen Luft geschlossen gehalten, so dass die Manometersäule stehen bleibt. Das Ventil wird also bei mit einander abwechselnden Zuständen der Verdichtung und Verdünnung nur auf Verdichtungen reagieren und eine Druckzunahme anzeigen. Soll es auf Verdünnungen reagieren,

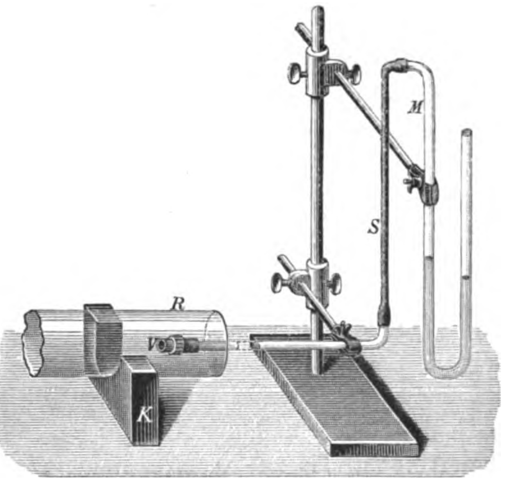


Fig. 3.

so kehrt man die Ventilhülse *C* um, so dass *G* in die Hülse *E* kommt; wir wollen diese Stellung des Ventils als Verdünnungsstellung, die vorige als Verdichtungsstellung bezeichnen.

Endlich will ich noch einige Bemerkungen, die Handhabung und Behandlung des Ventils betreffend, hinzufügen. Unter den verschiedenen Membranen, aus denen ich das Ventil hergestellt habe, hat sich das Seidenpapier, und zwar das weisse, glatte Cigarettenpapier, am besten bewährt. Um einen guten Streifen herzustellen, hält man das Papier gegen Licht, dann findet man Stellen, die keine sichtbaren Löcher besitzen; aus diesem wird ein schmaler Streifen herausgeschnitten, der ohne Spannung in der oben angegebenen Weise an den kleinen Konus geklebt wird. Damit sich das Ventil möglichst innig der Form der Öffnung des Konus anschmiegt, behaucht man den bereits angeklebten Streifen und drückt ihn mit dem Daumen an den Konus an, wodurch der Streifen an der Stelle der Öffnung eine kleine Vertiefung erhält und so einen guten Verschluss liefert. Das Papier ist keineswegs absolut luftdicht, dieser Umstand bringt aber für den Versuch gewisse Vorteile mit sich. Bei absolut luftdichtem Ventil müsste man die durch den Druck gehobene Flüssigkeitssäule des Manometers in ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückbringen, während bei dieser Sorte von Membranen die Flüssigkeit nach wenigen Sekunden in beiden Schenkeln sich von selbst gleichstellt, so dass man den Versuch schnell hintereinander wiederholen resp. einen anderen Versuch anstellen kann. Auch habe ich gefunden, dass das Ventil besser funktioniert, wenn es etwas feucht ist, deshalb ist es ratsam, dasselbe während der Versuchsreihe hin und wieder ein wenig zu behauchen, was man mit Leichtigkeit, ohne den Konus herauszunehmen, bewirken kann. Ich erwähne noch, dass man sich ein brauchbares Ventil auch aus gutem Korke und einem Stückchen Glasrohr herstellen kann. Ein cylindrisches Korkstück wird glatt durchbohrt, über der Öffnung der Papierstreifen befestigt und das Ganze in ein kurzes Glasröhrchen luftdicht hineingeschoben. Die Hülsen *D* und *E* werden durch Gummischläuche ersetzt. Solches Ventil, wenn es sauber ausgeführt ist, funktioniert empfindlich genug, so dass man damit die meisten der beschriebenen Versuche anstellen kann. Was die Dimensionen des Ventils resp. der Durchbohrung anbetrifft, so können dieselben variieren, ohne dass dadurch die Brauchbarkeit der Vorrichtung beeinträchtigt wird. Für die Versuche mit schwingenden Luftsäulen empfehlen sich kleinere Dimensionen, sonst werden durch zu grosse Ventile die Schwingungen der Luftsäule gehemmt und zum Teil modifiziert. Ein Konus von 8—10 mm Länge mit einer Durchbohrung von 1—2 mm Durchmesser wird wohl der geeignetste sein, und nach dessen Grösse richten sich die anderen Ausmessungen der Vorrichtung.[2])

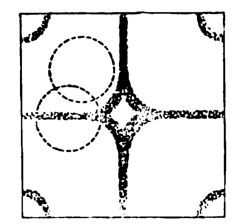
Versuche.

1. Nimmt man das Ventil in die Mundhöhle und spricht einen Vokal, so zeigt das Manometer je nach der Stellung des Ventils Verdichtung oder Verdünnung an. Man kann auch in den Trichter hineinsprechen oder hineinsingen und erhält je nach der Stärke und der Art des hineingesprochenen Vokals Druckdifferenzen, die (bei Alkohol) bis zu 20 cm ansteigen. Auch von der Tonhöhe hängt die Druckdifferenz im Manometer ab, weil das Ventilpapier in Eigenschwingungen gerät und offenbar dann am günstigsten funktioniert, wenn die Perioden der Schwingungen des Tones ein Vielfaches von derjenigen des Ventilpapieres sind.

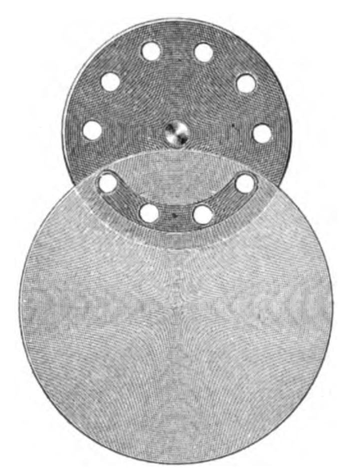
[2]) Der Apparat wird von dem Mechaniker W. Langhoff in Berlin angefertigt.



2. Befestigt man das Ventil mit dem Trichter in vertikaler Stellung über einer horizontal eingespannten Chladni'schen Platte so nahe, dass die Platte schwingen kann, ohne den Trichter zu berühren, so erhält man bei richtigen Klangfiguren grosse Druckdifferenzen. Die Stellung des Trichters und die Form der Klangfigur müssen derartig sein, dass der Trichter nur über einem Teil der Platte sich befindet, der keine Knotenlinien besitzt. Die über zwei durch eine Knotenlinie getrennten Teilen gleichzeitig erzeugten Verdichtungen und Verdünnungen schwächen sich nämlich oder heben sich durch Interferenz ganz auf. Dies giebt wieder eine Ergänzung der Interferenzversuche. Besonders leicht gelingen diese Versuche mit der in Figur 4 abgebildeten Chladni'schen Figur, wo die punktierten Linien die Stellungen des Trichters andeuten. Am besten wird der Versuch so angestellt, dass man den Trichter unverändert lässt und die Platte allmählich um den Befestigungspunkt dreht, so dass man die allmähliche Abnahme der Verdichtung resp. Verdünnung beobachten kann. Selbstredend findet man je nach der Grösse der Platte und des Trichters noch andere Klangfiguren, die sich für diesen Versuch eignen.


Fig. 4.

3. Um die Luftzustände bei der Erzeugung der Töne durch die Sirene von Cagniard la Tour zu untersuchen, verdeckt man die Öffnung des Trichters durch eine Pappscheibe, deren Durchmesser etwas grösser ist, als der Durchmesser des Trichters; dieselbe besitzt einen bogenförmigen Schlitz, der auf die Löcher der Sirene passt (Fig. 5), so dass durch denselben die über mehreren Löchern der Sirene entstehenden Verdichtungen resp. Verdünnungen in den Trichter gelangen können. Der Trichter wird über der Scheibe der Sirene so befestigt, dass der Schlitz möglichst nahe an der Scheibe sich befindet. Bei diesem Versuche ist zu bemerken, dass das Ventil für höhere Töne besser funktioniert als für tiefe.


Fig. 5.

4. Besonders geeignet ist der Apparat zum Studium des Bewegungszustandes der Luft in stehenden Wellen. Ich verwende dazu eine gegen 62 cm lange Glasröhre, deren innerer Durchmesser 5—6 cm beträgt. Eine solche Röhre resoniert kräftig auf den Ton der Stimmgabeln $c' = 256$ und $c'' = 512$. Die Röhre wird horizontal befestigt und in dieselbe das Ventil ohne Trichter mittelst des eingekitteten Glasrohres horizontal hineingeführt[3]). Die Anordnung des Versuches ist in Fig. 3 dargestellt. Befindet sich das Ventil an der Stelle eines Knotenpunktes, so zeigt das Manometer, je nach der Stellung des Ventils, Verdichtungen resp. Verdünnungen, deren Stärke bis auf Null allmählich herabsinkt, wenn man das Ventil dem Bauche nähert. Dieser Versuch gelingt sowohl bei der Stimmgabel c' als auch c''. Auch bei einseitig geschlossener Röhre kann man die Verdichtungen an den Knotenpunkten zeigen. Zu diesem letzteren Versuch eignen sich direkt die Resonanzkasten der Stimmgabeln. Hierbei bemerke ich, dass es empfehlenswert sein dürfte, den

[3]) Die Anschaffung einer solchen Röhre ist empfehlenswert, da sie noch für andere Versuche z. B. den Maschke'schen brauchbar ist. Vergl. auch *Weinhold, Physik. Demonstr. (2) Seite 223.*

Schwingungszustand an den Bäuchen und Knotenpunkten mittelst des genannten Maschke'schen Apparates zu demonstrieren. Die Hopkins'sche Trommel ist für diesen Versuch wenig empfindlich, dagegen eignen sich hierfür nach Weinhold auch Seifenmembranen. Bei den Versuchen mit der Röhre sind die Druckdifferenzen ziemlich klein, man kann sie aber dadurch recht gut sichtbar machen, dass man das Manometer, dessen Schenkel sonst vertikal stehen, um eine durch beide Schenkel gehende horizontale Grade dreht, so dass sie eine schräge Richtung annehmen. In der schrägen Stellung entspricht dann einer kleinen Druckdifferenz eine Verschiebung des Niveaus der Flüssigkeit um eine weit längere Strecke. Damit bei der schrägen Stellung des Manometers das Niveau der Flüssigkeit sich nicht zu sehr ausbreitet, darf man den inneren Durchmesser des Manometerrohres nicht zu gross wählen. — Diese Versuche über die Verdichtungen und Verdünnungen in stehenden Wellen kann man natürlich auch mit jeder Pfeife anstellen. Sehr geeignet ist dazu die c'-Pfeife mit 256 Schwingungen. Die Druckdifferenzen sind bei dieser Pfeife so gross, dass man bei der gewöhnlichen Stellung des Manometers ein Steigen resp. Sinken der Manometerflüssigkeit um 2 dm beobachtet. Auch erhält man mit derselben leicht einige Obertöne, bei denen man die Lage der Knotenpunkte mittelst des Ventils ermitteln kann.

5. Es sei bemerkt, dass man mit zwei Ventilen noch einen anderen fundamentalen Versuch anstellen kann. Das eine Ventil wird mit dem einen, das andere mit dem anderen Schenkel des Manometers verbunden. Befindet sich das eine Ventil in der Verdichtungs-, das andere in der Verdünnungsstellung und bringt man sie in zwei aufeinander folgende Knotenpunkte der tönenden Luftsäule, so sieht man eine Verstärkung der Druckdifferenz; sind beide Ventile in derselben Stellung, so beobachtet man eine Schwächung der Wirkung. Aus diesem Versuche erschliesst man sofort, dass die Zustände an zwei aufeinander folgenden Knotenpunkten in demselben Augenblicke entgegengesetzt sein müssen. Ein vollständiges Aufheben der Druckdifferenz durch die gleichzeitige Wirkung der Verdichtung und Verdünnung auf das Manometer ist selten zu erreichen, da es recht schwer ist, zwei ganz genau gleich empfindliche Ventile herzustellen. Auch die anderen Versuche können mit zwei Ventilen angestellt werden, die dann in umgekehrten Stellungen mit zwei Manometern verbunden werden, so dass man an dem einen Manometer eine Verdichtung, an dem anderen gleichzeitig eine Verdünnung beobachten kann.

Diese Versuche mögen ausreichen, um die Brauchbarkeit des Apparates im elementaren Unterrichte in der Akustik zu zeigen. Hat der Schüler auf solche Weise ein klares Bild von dem Verlauf der Schwingungen der Luft in der Schallwelle gewonnen, so wird man an dieses Resultat die mathematische Betrachtung mit Erfolg anknüpfen können.

Ein Demonstrations-Elektroskop.

Von

Bruno Kolbe in St. Petersburg.

In vielen Fällen ist es wünschenswert, ein weithin sichtbares Elektroskop zu benutzen, auch wenn es etwas weniger empfindlich sein sollte, als die gebräuchlichen Goldblatt-Elektroskope. Gespaltene Strohhalme, Papierstreifen etc.



erwiesen sich als zu schwer beweglich. Nach vielen Versuchen kam ich mit Seidenpapieren zum Ziel, als ich mich entschloss, die Papierstreifen nicht wie bei den gebräuchlichen Elektroskopen am Ende, sondern an der Seite des Stabes in besonderen Bügeln aus feinem, glattem Kupferdraht aufzuhängen. Fig. 1 zeigt mein Papierelektroskop, α, α die Lage der Papierstreifen im ungeladenen, β, β im geladenen Zustande. Die Bügel, deren Gestalt aus Fig. 2, *b* ersichtlich ist, können an ein kurzes Messingröhrchen, das durch einige Längsschlitze federnd gemacht ist, angelötet und über den Messingstab geschoben werden. Einfacher ist es, beide Bügel aus einem Stück des feinen, womöglich versilberten Drahtes herzustellen und durch Umwickeln mit dem längeren Drahtende am Stabe zu befestigen. Die Streifen (Fig. 2, *a*) aus hell- aber intensiv rotem Seidenpapier[1]) haben am unteren Ende eine halbkreisförmige Verbreiterung, welche rechtwinklig nach aussen geknickt wird und die gute Sichtbarkeit bedingt. Der Ausschlag, den die Papierblättchen in der angegebenen Art der Aufhängung geben, ist fast doppelt so gross, als wenn man dieselben Blättchen in der gewöhnlichen Weise am Ende des Stabes (auch in Bügeln) aufhängt. Die Blättchen sind an der Stelle, wo sie am Bügel anliegen, mit einem Ausschnitt versehen, um die Reibung zu vermindern. Das durch den Bügel gesteckte Ende des Papierstreifens wird nach aussen umgebogen (nicht geknickt) und vermittelst einer Spur von Gummi arabicum befestigt. Die Papieröse darf den Draht nur an einer Stelle berühren, muss also etwas weiter sein (1 bis $1\frac{1}{2}$ mm im Durchmesser genügt). Die Breite der Streifen bebeträgt 3,5 mm und die Länge von dem Bügel an 35 mm, sodass sie im geladenen Zustande noch 5—10 mm von der Gefässwand abstehen; bei grösserer Länge macht sich die Influenzwirkung der Glaswand zu stark geltend. Der Durchmesser der Kugel beträgt 20 mm. Wo es nicht auf Empfindlichkeit des Apparates ankommt, können die Dimensionen verdoppelt werden. Schneidet man dagegen die beschriebenen Papierstreifen etwa 2 mm unterhalb der Öse ab und klebt daran Aluminiumstreifen, so erhält man ein Elektroskop von ausserordentlicher Empfindlichkeit. An einem solchen Elektroskop gab der Elektrophordeckel, einmal sanft mit dem Fuchsschwanz gestrichen, einen beträchtlichen Ausschlag.

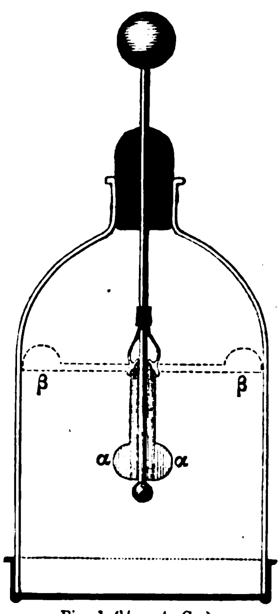


Fig. 1 (1/3 nat. Gr.)

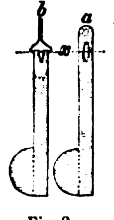


Fig. 2. (1/2 nat. Gr.)

Um die besonders bei Goldblatt- und Aluminium-Elektroskopen auftretende Influenzwirkung der Glaswand zu beseitigen, wählte ich mit Erfolg ein gut leitendes Glas, dessen abgesprengter Boden durch eine passende Messingplatte mit 25 mm hohem Rande geschlossen ist. Zeigt sich noch eine Influenzwirkung,

---

[1]) Die Farbe ist nur insofern von Bedeutung, als farbige Papiere (wenigstens aus meinem Sortiment) die Elektricität besser leiten als weisse. Hellrote Streifen sind vor hellem wie vor dunklem Grunde gut sichtbar. Versuche mit bronciertem Seidenpapier gaben, wider Erwarten, ein schlechteres Resultat; die Beweglichkeit und die Sichtbarkeit waren geringer, erstere wohl wegen der grösseren Reibung des Bronce-Staubes, denn die Zunahme an Gewicht war zu unbedeutend.

so genügt die gleichzeitige Berührung des Knopfes und des Messingrandes der Bodenplatte, um das Elektroskop zu entladen.[2]) Vom Glase ist der leitende Stab durch einen zugleich als Befestigung dienenden Hartgummipfropf isoliert. Statt dieses Verschlusses kann auch ein gewöhnlicher Kork genommen werden, durch welchen der Metallstab, von einer starken Ebonitröhre umgeben, hindurchgeführt wird.

Die hiesige Firma O. Richter hat, nach Prüfung und Vergleichung dieses Elektroskopes mit den eigenen Goldblatt- und Aluminium-Elektroskopen, sich entschlossen, fortan für Schulzwecke solche Papierelektroskope zu liefern.[3])

Bei der guten Sichtbarkeit des Papier-Elektroskopes erspart man die Anwendung eines Projektionsapparates, was insofern ein Vorzug ist, als bei letzterem die Zuschauer nicht so gut die Manipulationen des Experimentators verfolgen können. Sehr anschaulich lassen sich u. a. folgende Erscheinungen vorführen.

1. Spitzenwirkung. Bewegt man den elektrisierten Glasstab etwa 5 bis 10 cm über der Kugel hin und her, so schwingen die Blättchen auf und ab. Das Elektroskop bleibt ungeladen. — Setzt man eine Spitze aus ca. 0,8 mm starkem Messingdraht auf, dessen anderes Ende so gewunden ist, dass der Draht mit leichter Reibung auf der Kugel festsitzt, und fährt man mit dem Glasstabe ein Mal rasch darüber hin, so ist das Elektroskop sofort geladen. Oder man richtet die Spitze gegen den Knopf eines zweiten daneben aufgestellten Elektroskopes und ladet das erste Elektroskop direkt, dann wird zugleich das zweite geladen.

2. Positive und negative Elektricität neutralisieren sich. Hierzu benutzt man zwei Elektroskope (deren Kugeln gleich gross sein müssen). Das eine kann sehr einfach, aus einer passenden Flasche hergestellt sein; doch ist es zweckmässig, bei beiden Apparaten die Papierstreifen von verschiedener Farbe, etwa rot und grün zu wählen. Das eine Elektroskop wird mit $+E$, das andere mit $-E$ geladen. Berührt man darauf mit der Kugel des einen Elektroskopes die Kugel des anderen, so fallen bei beiden die Blättchen zusammen. Bei gleichnamigen Elektricitäten tritt keine Wirkung ein, d. h. die Elektroskope bleiben geladen.

3. Influenzwirkung. Zwei Elektroskope werden (in ca. 20 cm Abstand) aufgestellt; während man dem einen Elektroskope die geriebene Glasstange nähert, verbindet man beide Knöpfe durch einen Draht mit gut isolierender Handhabe, dessen Enden abgerundet sind. Dadurch werden beide Elektroskope geladen und zwar, wie Versuch 2 zeigt, ungleichnamig elektrisch. (Bei diesem Experimente ist es zweckmässig, den Verbindungsdraht zuerst von demjenigen Knopfe zu entfernen, der vom influenzierenden Körper weiter absteht).

---

[2]) Nur bei sehr trockener Luft (z. B. $t = 18°$ C., $F = 28\%$) traten kleine Unregelmässigkeiten ein, die sofort verschwanden, als ich in das Elektroskop etwas hineinhauchte und das Glas aussen mit einem feuchten Läppchen abrieb.

[3]) Auch die Universitätsmechaniker Paul Schultze in Dorpat und Franz Hájek in Prag haben die Anfertigung des Demonstrations-Elektroskopes übernommen.



Elementare Ableitung der adiabatischen Gleichung.[1])

Von

Dr. **Albert Voss** in Berlin.

Wir denken uns in einem cylinderförmigen Gefäss die Gewichtseinheit eines Gases durch einen im Cylinder beweglichen Stempel abgeschlossen. Die Spannung des Gases wird dann gemessen durch den Druck, welcher von aussen auf die Quadrateinheit der Oberfläche des gewichtlos gedachten Stempels ausgeübt werden muss, um bei gleichbleibender Temperatur das System im Gleichgewicht zu halten. Die Erfahrung lehrt dann für gewisse Gase:

1) Wird der Druck geändert, so ändert sich auch das Volumen des Gases, und zwar ist bei derselben Temperatur das Volumen stets umgekehrt proportional dem Drucke (Mariotte'sches Gesetz).

2) Wird bei gleich bleibendem Drucke das Gas erwärmt (abgekühlt), so wird das Volumen vergrössert (vermindert), und zwar entspricht der Veränderung der Temperatur um einen Grad der Skala des Quecksilberthermometers stets dieselbe Zunahme oder Abnahme des Volumens (Gay-Lussac'sches Gesetz).

Beide Gesetze lassen sich in die Formel zusammenfassen:

I. . . . . $vp = v_0 p_0 (1 + \alpha t)$.

Diese Formel gilt zunächst nur für den Gleichgewichtszustand, weil nur dann die Spannung des Gases gleich dem äusseren Druck ist[2]). Man schreibt sie für viele Rechnungen bequemer in der Form

$$pv = p_0 v_0 \alpha \left(\frac{1}{\alpha} + t\right)$$

oder

$$pv = R(a + t),$$

in welcher Gleichung $a = {}^1/_{0,00366}$ und R eine für jede Gasart experimentell zu bestimmende Constante ist.

Wenn man aber den Druck, unter dem das Gas steht, ändert, so nimmt das Volumen nicht sofort den aus dem Mariotte'schen Gesetz folgenden Wert an, sondern es findet bei der Zusammendrückung eine Temperaturerhöhung, bei der Ausdehnung eine Temperaturerniedrigung statt, und erst wenn durch den Einfluss der Umgebung die Temperatur sich ausgeglichen hat, erreicht das Volumen die entsprechenden Werte. Denkt man sich nun das Gas von einer für die Wärme undurchdringlichen Hülle umgeben und dann die Druckveränderung vorgenommen, so entsteht die Frage, welches Volumen und welche Temperatur wird jetzt das Gas haben.

Die Lösung dieser Aufgabe ist zuerst von Poisson gegeben worden. Poisson nebst den andern Physikern seiner Zeit hielt die Wärme für einen Stoff und nahm an, dass die Wärmemenge, welche sich in einem Körper befindet, durch das Volumen und die Temperatur desselben bestimmt sei. Als Ergebnisse der Erfahrung legte er die Formel I. und die Annahme, dass die specifischen Wärmen bei constantem Druck und bei constantem Volumen von einander verschieden, aber unabhängig von der Temperatur sind, seiner Rechnung zu Grunde.

---

[1]) Bearbeitet nach der Abhandlung des Verfassers „Elementare Darstellung der mechanischen Wärmetheorie“ (Wissenschaftliche Beilage zum Programm des Humboldt-Gymnasiums in Berlin, Ostern 1887. — Progr. No. 61).

[2]) Eine einfache Rechnung zeigt (Progr.-Abh. S. 5), dass die Formel auch noch bei verhältnismässig schnellen Bewegungen des Systems als gültig angesehen werden kann.

Die gesuchte Gleichung erscheint bei ihm als Integral einer gewissen partiellen Differentialgleichung. Es ist aber interessant zu bemerken, dass die Annahmen Poisson's mit einander in Widerspruch stehen; er hätte nur dieselbe Rechnung auf ein einfaches, von ihm schon berührtes Beispiel anzuwenden brauchen, um diesen Widerspruch zu entdecken. Es würde sich ergeben haben, dass die Wärmemenge, welche einem Gase zugeführt werden muss, um es aus dem Zustande $p_0 v_0$ in einen andern $p_1 v_1$ zu bringen, nicht allein von den Variabeln p, v abhängig ist. Man kann nämlich die angegebene Zustandsänderung auf zwei Arten hervorbringen.

1. Man lässt den Druck constant und bringt das Volumen durch Erwärmung auf v_1; die dazu nötige Wärme ist

$$Q_1 = c_p (t' - t_0),$$

wenn t' die entstandene Temperatur bezeichnet.

Es ist aber $p_0 v_0 = R(a + t_0)$ und $p_0 v_1 = R(a + t')$, also

$$t' - t_0 = \frac{p_0 (v_1 - v_0)}{R}$$

und

$$Q_1 = \frac{c_p p_0}{R} (v_1 - v_0);$$

hält man jetzt das Volumen fest und erhöht durch Erwärmung den Druck von p_0 auf p_1, so ist die dazu nötige Wärme

$$Q_2 = c_v (t_1 - t')$$

oder, da $p_0 v_1 = R(a + t')$ und $p_1 v_1 = R(a + t_1)$ ist,

$$Q_2 = \frac{c_v v_1}{R} (p_1 - p_0),$$

also die ganze bei dem Vorgang verbrauchte Wärmemenge

$$Q_1 + Q_2 = \frac{c_p p_0 (v_1 - v_0) + c_v v_1 (p_1 - p_0)}{R}.$$

2. Man kann auch in umgekehrter Reihenfolge erst das Volumen festhalten und den Druck auf p_1 bringen und dann den Druck festhalten und das Volumen auf v_1 erhöhen, die dazu nötigen Wärmemengen ergeben sich ähnlich wie vorhin

$$Q_1' + Q_2' = \frac{c_v v_1 (p_1 - p_0) + c_p p_1 (v_1 - v_0)}{R}.$$

Die Differenz der beiden Wärmemengen

$$(Q_1' + Q_2') - (Q_1 + Q_2) = \frac{c_p - c_v}{R} (v_1 - v_0)(p_1 - p_0)$$

ist aber nicht Null, folglich ist auch die ganze Wärme des Gases in dem Zustande $p_1 v_1$ nach dem ersten Vorgange verschieden von der Wärme in demselben Zustande nach dem zweiten Vorgange. Dieses Beispiel allein würde also das Unzulängliche in der älteren Vorstellung von der Wärme haben zeigen können.

Nachdem durch die Entdeckung des mechanischen Wärmeäquivalents jene ältere Vorstellung als irrig erwiesen war, wurde die adiabatische Gleichung gewöhnlich aus der ersten Hauptgleichung der mechanischen Wärmetheorie abgeleitet; es wird sich aber zeigen, dass die Formel I und der constante Wert des Verhältnisses von c_p und c_v die einzigen für dieselbe notwendigen Erfahrungsthatsachen sind. Unter diesen beiden Voraussetzungen soll im folgenden die Gleichung von Poisson elementar abgeleitet werden.

Das Gas befinde sich in einem beliebigen Zustande p_0, v_0, t_0, so dass ist

$$p_0 v_0 = R(a + t_0).$$

Wird jetzt dem Gase unter constantem Druck eine Wärmemenge Q zugeführt, so wird die Temperatur und das Volumen sich verändern; bezeichnen t' und v_1 die neuen Werte, so muss die Gleichung stattfinden

$$p_0 v_1 = R(a + t'),$$

und die zugeführte Wärmemenge ist

$$Q = c_p(t' - t_0), \text{ oder da}$$
$$p_1 v_1 - p_0 v_0 = R(t' - t_0), \text{ also}$$
$$t' - t_0 = \frac{p_0(v_1 - v_0)}{R},$$
$$Q = \frac{c_p p_0}{R}(v_1 - v_0).$$

Wird jetzt dem Gase dieselbe Wärmemenge entzogen, während das Volumen constant bleibt, so ändern sich Druck und Temperatur, und zwar nehmen beide ab; bezeichnen p_1 und t_1 die entsprechenden Werte, so ist dann

$$p_1 v_1 = R(a + t_1) \text{ und}$$
$$Q = c_v(t' - t_1), \text{ oder da}$$
$$p_0 v_1 - p_1 v_1 = R(t' - t_1), \text{ also}$$
$$t' - t_1 = \frac{v_q}{R}(p_0 - p_1) \text{ ist,}$$
$$Q = \frac{c_v v_1}{R}(p_0 - p_1).$$

Man hat also die Gleichung

$$\frac{cp\,p_0}{R}(v_1 - v_0) = \frac{c_v v_1}{R}(p_0 - p_1) \text{ oder}$$
$$\frac{p_1 - p_0}{p_0} = -k\frac{v_1 - v_0}{v_1},$$

woraus sich eine der Grössen $p_1\, v_1$ bestimmt, wenn die andere gegeben ist. Man gelangt hierdurch von einem Zustande aus zu einem beliebig gegebenen in der Weise, dass die Summe der zugeführten Wärme Null ist. Eine solche Zustandsänderung entspricht aber noch nicht der gesuchten, bei welcher das Gas sich in einer für Wärme undurchlässigen Hülle befindet, denn bei dieser sollen nicht nur die in endlichen Zeiten zugeführten und entzogenen Wärmemengen sich aufheben, sondern es soll überhaupt keine Wärmezufuhr stattfinden. Man kann sich aber diese Zustandsänderung in der Weise zustande gekommen denken, dass in einem Moment eine unendlich kleine Wärmemenge hinzugeführt und dieselbe sofort wieder entzogen wird, es tritt dann eine unendlich kleine Veränderung des Drucks und des Volumens ein; wird dann von neuem eine unendlich kleine Wärmemenge zugeführt und sofort wieder entzogen, so findet eine neue unendlich kleine Veränderung des Drucks und des Volumens statt; denkt man sich diese Operation unendlich oft wiederholt, so kann man zu einem beliebigen neuen Zustand in der Weise gelangen, dass die in jeder noch so kleinen endlichen Zeit hinzugeführte oder entzogene Wärme Null ist. Es erübrigt jetzt, diesen Gedanken mathematisch auszuführen.



Der Anfangszustand sei $p_0\, v_0$; nachdem zum ersten Mal eine unendlich kleine Wärmemenge hinzugeführt und sofort wieder entzogen ist, sei der Druck p_1, das Volumen v_1, es muss dann nach der oben ausgeführten Rechnung sein

$$\frac{p_1 - p_0}{p_0} = -k\,\frac{v_1 - v_0}{v_1}.$$

Nachdem sodann eine ähnliche Operation ausgeführt und der Druck p_2, das Volumen v_2 entstanden ist, hat man

$$\frac{p^2 - p_1}{p_1} = -k\,\frac{v_2 - v_1}{v_2}$$

und so weiter $\quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

bis
$$\frac{p_n - p_{n-1}}{p_{n-1}} = -k\,\frac{v_n - v_{n-1}}{v_n}.$$

Man kann nun die Wärmezufuhren so eingerichtet denken, dass das Verhältnis der Druckzunahme zum jedesmaligen Druck stets dasselbe ist, d. h. dass

$$\frac{p_1 - p_0}{p_0} = \frac{p_2 - p_1}{p_1} = \ldots \frac{p_n - p_{n-1}}{p_{n-1}} = \frac{q}{n},$$

wo q/n eine Grösse ist, die wenn n wächst, immer kleiner und schliesslich für ein unendlich grosses n unendlich klein wird. Man hat dann

$$p_1 = p_0\left(1 + \frac{q}{n}\right),$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$p_n = p_{n-1}\left(1 + \frac{q}{n}\right)$$

und hieraus, indem man in der letzten Gleichung p_{n-1} durch p_{n-2}, letzteres durch p_{n-3} und so fort bis p_0 ausdrückt,

$$p_n = p_0\left(1 + \frac{q}{n}\right)^n.$$

Nimmt man jetzt n unendlich gross, so werden die Druckzunahmen und die entsprechenden Wärmezufuhren unendlich klein, man hat dann die gesuchte Zustandsänderung und erhält mit Benutzung der Formel

$$\lim_{n=\infty}\left(1 + \frac{x}{n}\right)^n = e^x$$

$$p_n = p_0\, e^q.$$

Weiter müssen aber auch $-k\,\frac{v_1 - v}{v_1}$, $-k\,\frac{v_2 - v_1}{v_2}$ u. s. w. $= \frac{q}{n}$ sein, also

$$v_1\left(1 + \frac{q}{k.n}\right) = v_0,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$v_n\left(1 + \frac{q}{k.n}\right) = v_{n-1}.$$

Man erhält also nacheinander

$$v_n = \frac{v_{n-1}}{1 + \frac{q}{k.n}} = \frac{v_{n-2}}{\left(1 + \frac{q}{k.n}\right)^2} = \frac{v_0}{\left(1 + \frac{q}{k.n}\right)^n}$$

und, wenn man in dem letzten Ausdruck n unendlich gross nimmt,

$$v_n = \frac{v_0}{e^{\frac{q}{k}}} = v_0 e^{-\frac{q}{k}}.$$

Aus den beiden Formeln

$$p_n = p_0 e^q$$
$$v_n = v_0 e^{-\frac{q}{k}}$$

folgt, wenn man die letzte zur $k$ten Potenz erhebt und die linken und rechten Glieder mit einander multipliziert

II. . . . . $p_n v_n^k = p_0 v_0^k$.

Dies ist die gesuchte Beziehung zwischen Druck und Volumen der Gase, wenn kein Wärmeausgleich stattfindet. Man nennt diese Gleichung die adiabatische Gleichung.

Die Gleichung II lehrt die Druckveränderung bestimmen, welche einer gegebenen Volumenveränderung entspricht, oder umgekehrt; es entsteht nun die Frage, welches ist die Temperaturveränderung, wenn die Volumen- oder Druckveränderung gegeben ist. Die Beantwortung erfolgt durch Verbindung der Formeln I und II.

Bezeichnet t_0 die zum Anfangszustand $p_0 v_0$, t_n die zum Zustand $p_n v_n$ gehörige Temperatur, so ist nach Formel I

$$p_0 v_0 = R(a + t_0)$$
$$p_n v_n = R(a + t_n), \text{ also}$$
$$\frac{a + t_n}{a + t_0} = \frac{p_n v_n}{p_0 v_0};$$

nach Formel II ist aber

$$\frac{p_n}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v_n}\right)^k, \text{ also}$$
$$\frac{a + t_n}{a + t^0} = \left(\frac{v_n}{v_0}\right)^{1-k}.$$

Diese Gleichung bestimmt die Temperatur, wenn das Volumen gegeben ist; ist der Druck gegeben, so hat man aus Formel II

$$\frac{v_n}{v_0} = \left(\frac{p_0}{p_n}\right)^{\frac{1}{k}}$$

und gewinnt durch Einsetzen dieses Wertes die Gleichung

$$\frac{a + t_n}{a + t_0} = \left(\frac{p_n}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Diese Formeln finden Anwendung bei zwei Versuchen, welche in der Schule gemacht zu werden pflegen.

1) In einer dickwandigen Glasröhre, wie sie bei dem sogenannten pneumatischen Feuerzeug gebräuchlich ist, werde eine 15 cm lange Luftsäule auf 1 cm Länge zusammengepresst, welches ist die entstehende Temperatur? (*t_n = ca. 586°.*)

2) Im kurzen Schenkel einer communicierenden Röhre, wie sie zur Demonstration des Mariotteschen Gesetzes angewendet wird, sei eine Luftmasse unter dem Atmosphärendruck abgeschlossen, durch Aufgiessen von Quecksilber wird der

Druck verdreifacht, welches ist das Volumen und die Temperatur der Luft unter der Annahme, dass kein Wärmeausgleich stattfindet? ($v_n = v_0 .\ 0{,}436;\ t_n = ca.\ 125°$.)

Da die Wärmecapacität der Luft sehr gering und die Luftmenge verhältnismässig klein ist, so wird die Temperaturerhöhung bei diesem Versuch sehr bald ausgeglichen, beim langsamen Zugiessen von Quecksilber schon während des Versuchs, und v_n wird gleich $^1/_3\ v_0$.

Physikalische Aufgaben.

1. Der Rauminhalt des Lehrzimmers wird gemessen bez. geschätzt, Thermometer und Barometer werden abgelesen. Wieviel wiegt die im Zimmer enthaltene atmosphärische Luft? Wenn sich das Zimmer in der folgenden Nacht bis auf — 10° abkühlt, ohne dass sich der Barometerstand verändert, wieviel Luft wird dann in das Zimmer eingetreten sein? Wie muss sich der Barometerstand ändern, wenn trotz jenes Temperaturrückganges keine Selbstlüftung stattfindet? *G. Helm, Dresden.*

---

2. Der äussere Durchmesser eines Probiergläschens von 150 mm Höhe beträgt 14,2 mm, die Wandstärke 0,4 mm. Wie tief taucht das Gläschen in Wasser ein, wenn gerade das halbkugelige Ende mit Quecksilber gefüllt ist? Spec. Gew. des Quecksilbers 13,6, des Glases 2,4. — *Auflösung:* Fast $^2/_3$ der Höhe. *Meutzner, Meissen.*

---

3. Zwei Cylinder, von denen der eine auf Wasser schwimmt, der andere darin untergeht, sind so zu bestimmen, dass sie fest zusammengefügt einen cylindrischen Gesamtkörper ergeben, welcher zwar schwerer als Wasser ist, sich aber, auf den wagerechten Boden eines Gefässes gelegt, von selbst aufrichtet, wenn man dieses mit Wasser füllt (‚Steh-auf‘).

Auflösung: Es seien a und b die Höhen der beiden Teile, ihre specifischen Gewichte α und β, und zwar $\alpha > 1 > \beta$. Das scheinbare specifische Gewicht der in Wasser tauchenden Bestandteile ist $\alpha - 1$ und $\beta - 1$, letzteres negativ. Damit der Körper in Wasser getaucht sinke, muss $a(\alpha - 1) + b(\beta - 1) > 0$, also $b/a < (\alpha - 1)/(1 - \beta)$ sein und endlich

$$\frac{a+b}{a} < \frac{\alpha - \beta}{1 - \beta}.$$

Wenn der Körper sich im Wasser aus wagerechter Lage aufrichtet, so dreht er sich um den tiefsten Punkt derjenigen Endfläche, an welcher das schwerere Material sich befindet. Um für diesen Punkt die Drehungsmomente der relativen Gewichte beider Teile zu erhalten, denken wir uns als Angriffspunkte dieser Kräfte die Projektionen der beiden Schwerpunkte auf die horizontale Berührungslinie. Das resultierende Drehungsmoment ist $a/2 \,.\, a(\alpha - 1) + (a + b/2) \,.\, b(\beta - 1)$. Dieses muss negativ sein, also $a^2(\alpha - \beta) + (a + b)^2(\beta - 1) < 0$, woraus:

$$\frac{a+b}{a} > \sqrt{\frac{\alpha - \beta}{1 - \beta}}.$$

Bezeichnet man den Radikandus mit γ, so lassen sich beide Bedingungen zusammenfassen in

$$\sqrt{\gamma} < \frac{a+b}{a} < \gamma.$$

Für $\alpha = 2^3/_4$, $\beta = {}^3/_4$ ergiebt sich, dass b/a von 1,8 bis 7 sich ändern darf.

4. Wird ein dünner cylindrischer Stab mit abgerundeten Enden, der auf der einen Seite aus Glas besteht (spec. G. $= 2^3/_4$, Länge $= 2\ cm$), auf der andern aus Buchenholz (spec. G. $= {}^3/_4$, Länge $= 12\ cm$), in einen tiefen Wasserbehälter gebracht, so sinkt er

bis zum Boden und stellt sich dort vertikal. Wie wird sich der Stab neigen, wenn die Höhe des Wassers geringer ist als die Länge des Stabes?

Auflösung: Der in Wasser tauchende Teil des schief stehenden Stabes sei $= x$. Der ganze Stab besteht dann aus 3 Teilen, der erste aus Glas hat das relative sp. G. $1^3/_4$, der zweite aus Holz das relative sp. Gew. $(-{}^1/_4)$, der dritte nicht eintauchende Teil hat das spec. Gew. ${}^3/_8$. Die Längen der Teile sind 2; $x - 2$; $14 - x$. Die Abstände ihrer Schwerpunkte von dem unteren Endpunkt des Stabes sind 1; $1 + x/2$; $7 + x/2$. Setzt man die Summe der hieraus für jeden Teil des Stabes zu bildenden Produkte gleich Null, so wird $x^2 = 155$, $x = 12{,}5$. *M. Koppe, Berlin.*

Aufgaben über Trägheitsmomente.

Vorbemerkung. Unter der Kraft 1 verstehen wir den Druck, welchen eine Masse von 1 g auf einem fingierten Planeten von der Schwerebeschleunignng 1 (cm/sec) ausübt [1 Dyn]. Wirkt auf einen Körper von der Masse M Gramm 1 Sek. lang eine Kraft k, so erlangt er die Geschwindigkeit

$$v = k/M.$$

Man kann den Zug mittelst eines elastischen Fadens ausüben, der während der Dauer des Versuchs so stark ausgedehnt zu erhalten ist, wie er auf jenem Planeten durch eine Belastung von k Gramm ausgedehnt sein würde.

Ein um eine vertikale Axe leicht drehbarer Körper, dessen eigene Masse zu vernachlässigen sei, diene als Träger der Massen M_1, M_2, welche die Abstände r_1, r_2 von der Axe haben. Steht dieser Körper, 1 Sek. lang, unter Einwirkung einer am Hebelarme ρ wirkenden Kraft k, so erlangt er die Winkelgeschwindigkeit

$$\vartheta = k\,\rho/(M_1\,r_1^2 + M_2\,r_2^2) = D/T.$$

Die durch das Drehungsmoment D hervorgebrachte Winkelgeschwindigkeit ist desto kleiner, je grösser T (das Trägheitsmoment) ist. Letzteres hat also hier ähnlichen Einfluss gegenüber dem Drehungsmoment, wie im vorigen Fall M (die träge Masse) gegenüber der Kraft k.

5. Ein Thürflügel habe eine Masse von 120 kg, eine Breite von 60 cm. Welche Drehungsgeschwindigkeit erhält derselbe, wenn man an dem Griffe eines im Schloss steckenden Schlüssels, 10 cm vom Rande der Thür entfernt, 1 Sek. lang mit einer Kraft von 5 kg zieht? Die Reibung in den Angeln sei unerheblich.

Auflösung: Das Rechteck der Thür zerlegt man in schmale Streifen, indem man zur Drehungs-Axe in den Abständen $x_0\,(=0)$, x_1, x_2, $\ldots\, x_n\,(=b)$ Parallelen zieht. Ein Streifen von 1 cm Breite hat die Masse $s = 120 \,.\, 10^3/60 = 2 \,.\, 10^3$. Das Trägheitsmoment wird also

$$T = \Sigma s\,(x_h - x_{h-1})\,x_h^2,$$

wofür man auch setzen kann

$$T = {}^1/_3\,\Sigma(x_h - x_{h-1})(x_h^2 + x_h\,x_{h-1} + x_{h-1}^2) \text{ oder}$$
$$T = {}^1/_3\,\Sigma(x_h^3 - x_{h-1}^3) = {}^1/_3\,s\,b^3 = {}^2/_3 \,.\, 600^3.$$

Das Gewicht einer Masse von 5 kg auf der Erdoberfläche ist $k = 5 \,.\, 10^3 \,.\, 981$, ferner $D = 50\,k$, folglich ist $\vartheta = D/T$ bekannt. Man findet $60\,\vartheta = 102$ cm als lineare Geschwindigkeit des Randes der Thür, dieser hat daher während des Ziehens schon einen Kreisbogen von 51 cm beschrieben.

6. Mit welcher Beschleunigung rollt ein Spielreifen von einer schiefen Ebene herab? Damit wirklich die rollende Bewegung, nicht etwa eine gleitende, eintrete, sei der Neigungswinkel α kleiner als der Grenzwinkel für gleitende Reibung.

Auflösung: Es sei vorausgesetzt, dass die rollende Bewegung eines Reifens auf horizontaler Bahn, einmal eingeleitet, sich mit constanter Geschwindigkeit fortsetzt. Denken

wir uns den Reifen als reguläres Polygon mit sehr vielen Seiten, so ist die rollende Bewegung in jedem Augenblicke als Rotation um den Berührungspunkt P aufzufassen. Eine auf den Mittelpunkt C des Reifens parallel der Ebene wirkende Kraft wird seine Bewegung ebenso verändern, als wäre der Berührungspunkt fest. Die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher der Körper um diesen Punkt gerade rotiert, wird durch die Kraft verändert werden, und zwar um einen Betrag, der nicht nur von der Kraft, sondern auch von dem Trägheitsmoment T des Körpers um den Berührungspunkt P abhängt.

Um T zu finden, betrachte man zwei in den Endpunkten eines Durchmessers AB liegende gleiche Massenteile m, diese geben zum Trägheitsmoment den Beitrag

$$m\,PA^2 + mPB^2 = m\,(2\,PC^2 + 2\,CA^2) = 4\,m\,r^2.$$

Ist M die ganze Masse des Reifens, so wird

$$T = 2\,M\,r^2,$$

also so gross, wie für eine im Mittelpunkt concentrierte Masse $2\,M$. Das Gewicht des Körpers, Mg, als dessen Angriffspunkt der Schwerpunkt C zu denken ist, kann in zwei Componenten $Mg\cos\alpha$ und $Mg\sin\alpha$ zerlegt werden, von denen nur die letzte (parallel der schiefen Ebene) wirksam bleibt.

Der Körper bewegt sich also ebenso wie ein fingierter an sich masseloser Reifen von gleichen Dimensionen, dessen Centrum die Masse $2\,M$ enthält und als Angriffspunkt für die Kraft $Mg\sin\alpha$ dient. Die Bewegung der in das Centrum verlegten Masse erfolgt auf einer der gegebenen schiefen Ebene parallelen Geraden, sie kann daher wie die geradlinige Bewegung einer punktförmigen Masse unter Einwirkung einer constanten Kraft berechnet werden. Die Beschleunigung wird

$$G = \frac{Mg\sin\alpha}{2\,M} = \frac{1}{2}\,g\sin\alpha.$$

Zu demselben Resultat gelangt man, wenn man die in der ersten Sekunde erlangte Winkelgeschwindigkeit ϑ berechnet; die Beschleunigung des Schwerpunkts ist dann $= r\,\vartheta$.

7. Ein dünner Stahlcylinder vom Radius r, der die Axe eines schweren Schwungrades (Radius R, Masse M) bildet, rolle von einer schiefen Ebene herab, die aus 2 parallelen Schienen gebildet ist. Das Herabrollen ist mit einer Rotation des zwischen den Schienen frei beweglichen Schwungrades verknüpft. Wie stark wird die fortschreitende Bewegung gegen den freien Fall verlangsamt? Hat die lebendige Kraft des Körpers in irgend einem Punkte einen geringeren Wert, als wenn er durch reibungsloses Gleiten dahin gelangt wäre? Zur Vereinfachung der Rechnung kann man annehmen, dass alle Massen bis auf die in der Peripherie des Schwungrades enthaltene unerheblich sind.

Auflösung: Das Trägheitsmoment in Bezug auf die Berührungslinie des dünnen Cylinders mit der schiefen Ebene lässt sich wie oben aus Teilen von folgender Form zusammensetzen:

$$m(PA^2 + PB^2) = 2\,m(PC^2 + CA^2) = 2\,m(R^2 + r^2),$$

folglich

$$T = M(R^2 + r^2).$$

Dieses Trägheitsmoment ist gleich dem einer fingierten Masse M' in der geometrischen Axe C, wenn man setzt

$$M'r^2 = M(R^2 + r^2).$$

Diese Masse M' bewegt sich gradlinig unter Einwirkung der constanten Kraft $Mg\sin\alpha$, also ist die Beschleunigung:

$$G = \frac{Mg\sin\alpha}{M'} = \frac{r^2}{R^2 + r^2}\,g\sin\alpha.$$

Für $R = 10$ cm, $r = 1$ cm, $\alpha = 6°$ wird $G = 1{,}015$ cm. Mit einer solchen Vorrichtung lassen sich die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung viel sicherer

als mit der einfachen Fallrinne nachweisen. Die Beschleunigung lässt sich durch Vergrösserung von R und Verkleinerung von r beliebig herabsetzen; trotz der geringen Geschwindigkeit werden zufällige Hindernisse, die sich der fortschreitenden Bewegung entgegenstellen, mittelst der in der Rotation der schweren Masse aufgespeicherten lebendigen Kraft leicht überwunden. Die gleitende Reibung, die sonst die Resultate der Theorie in der Praxis beeinträchtigt, kommt hier nicht als Hindernis zur Geltung, sondern unterhält die Bewegung.

Gelegenheit, die obigen Bewegungen an Körpern von erheblichen Dimensionen zu beobachten, bietet sich in den Turnsälen; man findet dort runde Eisenstäbe von fast 1 m Länge, die an beiden Enden mit grossen schweren Kugeln versehen sind und etwa $^1/_2$ Ctr. wiegen. Lässt man einen solchen von einem wenig geneigten Sprungbrett herabrollen, so dass die Kugeln auf beiden Seiten darüber hinausragen, so kann man, ohne dadurch die Bewegung merklich zu stören, am Anfang jeder Sekunde an dem langsam rollenden Stabe entlang mit Kreide auf dem Brett eine Linie ziehen und an den Abständen der erhaltenen Linien die Gesetze der Bewegung nachweisen. *M. Koppe, Berlin.*

---

8. Ein homogener Hohlcylinder vom äusseren Radius a_1 und vom inneren Radius a_2 des concentrischen Cylindermantels rollt ohne zu gleiten auf einer schiefen Ebene von der Neigung α gegen die Horizontalebene; die Erzeugende des Cylinders, welche die Ebene berührt, bildet den spitzen Winkel β mit einer Linie stärksten Falls der schiefen Ebene. Die Bewegung des Cylinders zu untersuchen.

Auflösung: In jedem Augenblicke kann die Bewegung entweder als eine Rotation um die berührende Erzeugende als momentane Rotationsaxe angesehen werden, oder als eine Translation des Schwerpunktes mit der Geschwindigkeit v und eine Rotation um die Cylinderaxe mit der Winkelgeschwindigkeit ω, wobei $v = a_1 \omega$. Durch Anwendung des Prinzips von der Erhaltung der Energie folgt sofort die Gleichung ($p =$ Gewicht des Hohlcylinders, s der vom Schwerpunkte beschriebene Weg, Anfangsgeschwindigkeit gleich Null vorausgesetzt):

$$p\,s \,.\, \sin\alpha \sin\beta = \frac{1}{2}\frac{p}{g} v^2 + \frac{1}{4}\frac{p}{g}(a_1^2 + a_2^2)\,\omega^2;$$

hieraus, in Verbindung mit $v = a_1 \omega$:

$$v^2 = 2s \,.\, \frac{2g\,a_1^2 \sin\alpha \sin\beta}{3a_1^2 + a_2^2}.$$

Da das Quadrat der Geschwindigkeit dem Wege proportional ist, so ist die Bewegung des Schwerpunktes gleichmässig beschleunigt und der Faktor von $2s$ giebt die Beschleunigung. Die von a_2 abhängenden Werte der letzteren liegen zwischen

$$\frac{2}{3} g \sin\alpha \sin\beta \;\; (a_2 = 0) \;\; \text{und} \;\; \frac{1}{2} g \sin\alpha \sin\beta \;\; (a_2 = a_1).$$

9. Zwei schiefe Ebenen bilden mit einander den Winkel $2s$ und sind gegen die Horizontalebene gleich geneigt; der Winkel ihrer Schnittgeraden gegen den Horizont ist β. Eine Kugel vom Radius a berührt beide Ebenen und rollt ohne zu gleiten in dem von den Ebenen gebildeten räumlichen Winkel (Kegelkugel in der Rinne). Die Bewegung der Kugel zu untersuchen.

Auflösung: In jedem Augenblicke kann die Bewegung als eine Rotation um die Verbindungslinie der beiden Berührungspunkte als momentane Rotationsaxe angesehen werden. Ist v die Geschwindigkeit des Kugelmittelpunktes, so findet man aus dem Prinzip von der Erhaltung der Energie

$$v^2 = 2s\,\frac{g \sin^2\alpha \sin\beta}{0{,}4 + \sin^2\alpha},$$

worin s den durch den Mittelpunkt s (ohne Anfangsgeschwindigkeit) zurückgelegten Weg

bedeutet. Der Mittelpunkt bewegt sich also gleichförmig beschleunigt, und der Faktor von $2s$ giebt die Beschleunigung; die Winkelgeschwindigkeit ω der Kugel um die zur momentanen Axe parallele Schwerpunktsaxe ergiebt sich aus der Gleichung

$$v = a \sin \alpha \,.\, \omega \,.$$

10. Eine homogene Vollkugel vom Radius R und eine homogene Hohlkugel von demselben Radius R der äusseren Kugelfläche und dem Radius r der inneren concentrischen Kugelfläche rollen auf derselben schiefen Ebene hinab, ohne zu gleiten. Wie verhalten sich die Beschleunigungen der Mittelpunkte beider Kugeln γ_1 und γ_2 zu einander?

Auflösung: Ist α die Neigung der schiefen Ebene gegen die Horizontalebene, so hat man:

$$\gamma_1 = \frac{5}{7} g \sin \alpha, \quad \gamma_2 = \frac{5g\, R^2 (R^3 - r^3) \sin \alpha}{7R^5 - 5R^2 r^3 - 2r^5};$$

also:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 1 + \frac{2}{7} \frac{r^3 (R + r)}{R^2 (R^2 + Rr + r^2)} \,.$$

Die Grenzen dieses Verhältnisses erhält man für $r = 0$ und $r = R$ bezw. gleich 1 und $\frac{25}{21}$.

11. Eine Vollkugel und eine Hohlkugel von demselben äusseren Radius rollen, ohne zu gleiten, auf einer schiefen Ebene hinab (Anfangsgeschwindigkeit Null). Die erste braucht 86,9 Sekunden, die zweite 6 Sekunden mehr für denselben Weg. Wie gross ist das Verhältnis zwischen den Radien R und r der die Hohlkugel begrenzenden Flächen?

Auflösung: $$s = \frac{1}{2} \gamma_1 t_1^2 = \frac{1}{2} \gamma_2 t_2^2, \quad \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{t_1^2}{t_2^2} = 0{,}875 = \frac{7}{8} \,.$$

Setzt man $R/r = x$, so folgt (nach der vorhergehenden Aufgabe):

$$x^4 + x^3 + x \; - 2x - 2 = 0 \,,$$

und hieraus

$$x = 1{,}120\,743 \,, \quad 1/x = r/R = 0{,}892\,265.$$

E. Lampe, Berlin.

Kleine Mitteilungen.

Ein sehr einfacher Pendelversuch zur Erklärung der Resonanz und Absorption.

Von Professor **W. Holtz** in Greifswald.

Den sehr hübschen und instruktiven Pendelversuchen, welche Jsenkrahe in *Carl's Repert. d. Phys. Bd. 16 S. 99* beschrieben hat, möchte ich als Ergänzung ein kleines Experiment hinzufügen, welches freilich nur eine Modifizierung, aber eine besonders einfache Modifizierung eines jener Experimente ist. Ich benutze diesen Versuch seit Jahren in meinen Vorlesungen zur Erläuterung des Satzes von der Resonanz und Absorption.

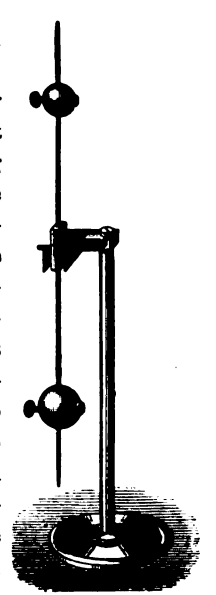
Man spanne zwischen zwei Thürpfosten einen Gummischlauch mittelst zweier Nägelchen und zweier an den Enden befestigten Bindfadenstücke straff und hänge über denselben gleichweit von den Enden (etwa um je $^1/_6$ der Thürbreite von diesen entfernt) zwei Fadenpendel von gleicher Länge mittels einfacher Drahthäkchen auf. Stösst man das eine an, so geräth das andere nach und nach in Schwingungen, welche immer stärker werden, während sich in gleichem Maasse die Schwingungen des ersten verringern, worauf, wenn dieses völlig zur Ruhe gelangt ist, die Bewegungserscheinung eine Umkehrung erfährt. Wählt man als zweites Pendel jedoch ein Pendel, welches kürzer oder länger ist, so wird es wohl auch periodisch in kleine Schwingungen geraten, welche jedoch keineswegs beständig grösser werden, weshalb auch das erste Pendel keine namhafte Abnahme der Bewegung erfahren kann. Ist das eine Pendel gerade 4 oder 9 mal so lang

wie das andere, so spricht sich wohl auch noch eine Übertragung der Bewegung aus, aber diese ist weniger eklatant. — Ein besonderer Vorzug dieser Versuchsform ist die Stabilität der Thürpfosten, wie sie durch Stative überhaupt nicht zu erreichen ist. Die Pendelmassen können ganz beliebige Körper sein. Statt des Gummischlauches kann man allenfalls auch einen einfachen Bindfaden verwenden.

Ein Pendelversuch.

Von Prof. Dr. **O. Reichel** in Charlottenburg bei Berlin.

Wodurch ersetzt man die Reise auf einen andern Himmelskörper, durch welche eine vollständige Bestätigung des Pendelgesetzes zu ermöglichen wäre? — Man stelle sich ein physikalisches Pendel her, indem man zwei Stricknadeln mittelst eines dünnen messingenen Verbindungsstückes zu einer doppelarmigen Pendelstange zusammensetzt. Durch das Verbindungsstück ist ein Stift senkrecht hindurchgesteckt, der als Achse dient und auf zwei Lager gelegt wird, so dass das Pendel in einer Ebene senkrecht zu dem Stift frei schwingen kann. Als Massen dienen zwei Messingkugeln von 50 g und $83^1/_3$ g, die in gleicher Entfernung l von der Drehungsachse, die eine am oberen, die andere am unteren Teil der Pendelstange festgeklemmt sind. Die Schwingungsdauer des Pendels muss dann dieselbe sein, wie diejenige eines einfachen Pendels von der Länge l, falls dasselbe sich auf einem nur $^1/_4$ so stark wie die Erde anziehenden Himmelskörper befände. In der That erweist sie sich doppelt so gross als diejenige des gleichlangen irdischen Pendels. Nimmt man zwei Messingkugeln von 50 g und $112^1/_2$ g, so ist die Schwingungsdauer dreimal so gross als die eines gleich langen einfachen Pendels, sie entspricht also derjenigen auf einem Himmelskörper, dessen Anziehung nur $^1/_9$ so stark wie die der Erde ist. Man wähle l nicht zu gross, um eine Durchbiegung der Stricknadeln zu vermeiden, und nicht zu klein, um eine Störung durch die Masse derselben und die Dimensionen der Kugeln zu verhindern.

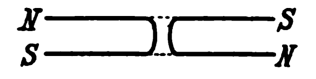


Eine neue Form der astatischen Nadel.

Von **A. Hempel** in Berlin.

Für die Grundversuche über Induktion ist es selbstverständlich am zweckmässigsten, ein möglichst leichtes astatisches Nadelpaar in einem Galvanometer ohne Dämpfung zu verwenden. Ich benutzte hierzu ein älteres Örtling'sches Galvanometer mit verhältnismässig wenig Drahtwindungen; das Nadelpaar hatte ich möglichst astatisch gemacht; auch misslang keiner der üblichen Versuche, immerhin war bei einzelnen derselben der Ausschlag der Nadeln so gering, dass für die Schüler gewiss grosse Aufmerksamkeit dazu gehörte, um sich von den vorgeführten Wirkungen zu überzeugen. Ich hätte diese Wirkungen wohl noch durch weitere Compensation des Erdmagnetismus erhöhen können, ich zog es aber vor einen anderen Weg zu versuchen.

Ich stellte mir — wie aus der Figur zu ersehen — ein Nadelpaar aus zwei hufeisenförmigen Magneten her, die in ihren indifferenten Teilen fest mit einander verbunden wurden. Die Nadeln wurden aus dünnem poliertem Stahldraht in glühendem Zustande gebogen, dann gehärtet und mit Wood'scher Legierung zusammengelötet. Es ist klar, dass ein solches Paar, das sich immer wieder als eine obere und eine untere Nadel auffassen lässt, soweit es auf die Verteilung des Magnetismus ankommt, vollständig astatisch sein müsste. Nun handelt es sich aber um die magnetischen Momente, und diese sind weiter von der Schenkellänge der Hufeisen abhängig. Es sollte wohl schwer



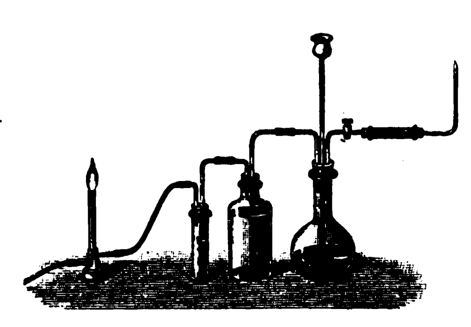
fallen, dies Nadelpaar genau symmetrisch herzustellen; auch ist es gar nicht wünschenswert, eine vollständig astatische Nadel zu haben. Ich brachte es aber durch Abschleifen der Enden dahin, dass die Nadel sehr langsame Schwingungen machte. Als ich sie dann in das Galvanometer einhängte und die Induktionsversuche wiederholte, war ich erstaunt über die grosse Empfindlichkeit, die ich erreicht hatte. Auch bei der Benutzung ganz schwacher Ströme zur Erzeugung von Induktionsstössen erhielt ich einen kräftigen Ausschlag der Nadel. Statt eines Magneten konnte ich das Bündel aus weichem Eisendraht benutzen, das gewöhnlich den Apparaten für die Grundversuche beigegeben wird; der äusserst geringe remanente Magnetismus darin reicht aus, um einen genügenden Ausschlag der Nadel herbeizuführen. Auch gelang es, die Nadel durch den Strom der Holtz'schen Maschine abzulenken — ein Versuch, der mir zuvor noch nicht geglückt war.

Die Hauptvorteile eines solchen Nadelpaares würden sein: 1) dass selbst bei Veränderung des Magnetismus das Paar ein für alle Mal nahezu gleich stark astatisch bleibt; 2) dass dem Nadelpaar mit Leichtigkeit ein vorgeschriebener Grad von Astasie erteilt werden kann, derart, dass das Paar an einem Coconfaden von gegebener Länge aufgehängt (um etwa die Torsion des Fadens zu berücksichtigen) in einer bestimmten Zeit eine vorgeschriebene Zahl von Schwingungen macht. Das Gewicht kommt kaum in Betracht, weil mit wachsendem Gewicht auch die Intensität des Magnetismus wächst.

Eine Modifikation des Schwefelwasserstoffapparats.

Von Dr. **F. Wilbrand** in Hildesheim.

Wenn die constanten Schwefelwasserstoffapparate nicht ständig, etwa für analytische Arbeiten, in Gebrauch sind, sondern, wie das beim Schulunterrichte zu geschehen pflegt, oft längere Zeit unbenutzt stehen, so scheidet sich leicht durch allmählichen Zutritt von Luft Eisenoxyd aus, welches das noch vorhandene Schwefeleisen umhüllt und verkittet, so dass bei erneutem Gebrauch des Apparats der Zufluss der Säure erschwert ist, und im günstigsten Falle erst nach einiger Zeit die Entwickelung von Schwefelwasserstoff erfolgt. Die gewöhnlichen einfachen Schwefelwasserstoffapparate haben den Nachteil, dass man den Gasstrom nicht regulieren kann, und dass viel Schwefelwasserstoff unverbraucht entweicht und die Luft verpestet. Ich bediene mich seit einiger Zeit des hierneben abgebildeten Apparats, der ohne weiteres verständlich ist und billigen Ansprüchen genüge leistet. Er gestattet den Gasstrom zu regulieren, so dass man zum Beispiel für den Nachweis der Verbrennungsprodukte eine Flamme von gewünschter und gleichbleibender Grösse haben, oder zum Ausscheiden des Wasserstoffs einen regelmässigen Gasstrom über glühendes Kupfer leiten kann etc. Wird die rechte Seite des Apparates nicht benutzt, so geht der Strom durch Wasser, um das für weitere Versuche erforderliche Schwefelwasserstoffwasser zu liefern, dann durch Natronlösung oder durch die Lösung irgend eines Salzes, das zersetzt werden soll, z. B. von Kupfervitriol. Der Rest noch entweichenden Gases wird in die Luftöffnung eines Bunsen'schen Brenners geleitet und verbrennt, so dass bei gutem Schluss nur die geringe Menge von Schwefelwasserstoff sich bemerklich machen kann, welche aus dem Sicherheitsrohr entweicht, und auch diese würde man noch verkleinern können durch Umbiegung des unter die Flüssigkeit tauchenden Endes der Röhre. — Man lässt den Apparat zusammengesetzt, so lange sich noch Schwefelwasserstoff in grösserer Menge entwickelt. Die entstandene Eisenvitriollösung wird zweckmässig erst kurz vor erneutem Gebrauch des Apparats entfernt. — Bequem ist es, wenn der Apparat ein für alle mal auf einem Tragbrettchen steht, so dass er nach dem Gebrauch aus dem Schulraum entfernt oder unter den Abzug gestellt werden kann.





Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Zusammensetzung von Pendelschwingungen. Von E. Bazzi wird im *Nuov. Cim. (1887, vol. XXII, 150)* der folgende Apparat beschrieben. Zwei Pendel von je 1 m Länge, deren schwingende Massen durch Messingkugeln von 80 cm Durchmesser gebildet werden, sind auf Stahlschneiden aufgehängt und auf getrennten Tischen neben einander aufgestellt. Das eine trägt am unteren Teil eine Holztrommel von 20 cm Durchmesser, die am Umfange mit Cartonpapier bezogen ist und auf elektromagnetischem Wege in Rotation versetzt werden kann; dem Ende der Pendelstange gegenüber befindet sich ein verstellbarer Elektromagnet, mit dessen Hülfe die Schwingungsphase des Pendels sich verändern lässt. Das andere Pendel ist mit einem leichten Schreibhebel versehen, der die Curven auf den Umfang der Trommel aufzeichnet. Bei senkrechter Stellung der beiden Achsen erhält man die Lissajous'schen Figuren, bei paralleler Stellung der Achsen und passender Wahl der Pendellängen Summationscurven, welche die Superposition von Schwingungen erläutern.

Ein Versuch über die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten. Eine geölte Nähnadel schwimmt bekanntlich auf der Oberfläche des Wassers, ein Versuch, der zur Erläuterung der Oberflächenspannung zwischen Wasser und Luft benutzt wird. Wählt man eine Nadel von mittlerer Grösse (No. 6) und giesst dann Oel auf das Wasser, bis die Nadel davon bedeckt ist, so sinkt diese bis zum Grunde des Wassers hinab. Führt man hingegen dasselbe mit Petroleum aus, so bleibt die Nadel schwimmen.

Zur Erklärung dieses Versuchs betrachtet A. R. Walsh (*Proc. Dubl. Soc. V, 6, 1887)* die von der Nadel hervorgebrachte Depression als ein Boot, dessen Inhalt aus Nadel und Oel besteht, während die Wände von der herabgedrückten Wasseroberfläche gebildet sind. Das Uebergewicht von Nadel und Oel über das Gewicht des verdrängten Wassers muss geringer sein, als die Oberflächenspannung, wenn die Nadel schwimmen bleiben soll. Nun sind nach Quincke die Oberflächenspannungen in gr. per m, bei 20° C,

an der Grenze von Wasser und Luft 8,253,
Wasser und Olivenöl 2,096,
Wasser und Petroleum 2,834,

die relativen Dichtigkeiten dagegen von Olivenöl 0,915, von Petroleum 0,840. Man erkennt daher, dass bei Wasser und Oel die grössere Dichte des Oels und die geringere Spannung zusammenwirken, um das Sinken der Nadel hervorzubringen, während beim Petroleum dies noch nicht der Fall ist. Eine genauere Rechung zeigt, dass eine Nadel von der gewählten Grösse ihr 35faches Volum Wasser verdrängt, und dass eine sehr kleine Nadel auch zwischen Wasser und Oel noch würde schwimmen können.

Luftwägung in der Lehrstunde. Für die Bestimmung des Luftgewichtes benutzt A. Kurz (*Rep. d. Phys. XXIII, 519; 1887*) das (irrtümlich sogenannte) ‚Gewichtsmanometer von Guericke', das in den Lehrbüchern den Namen ‚Baroskop' oder ‚Dasymeter' führt. Der Verf. bestimmte das Volumen des kleinen Glasballons durch Eintauchen in ein kalibriertes Gefäss mit Wasser, und aichte das Instrumentchen auch als Wage, indem er die Ausschläge (in Skalenteilen) beobachtete, die der Zeiger beim Auflegen von 0,05 g und 0,10 g angab. Wurden überdies die Volumina von Glocke und Stiefel unter Absperrung des abgekürzten Barometers ermittelt, so liess sich der Verdünnungsgrad nach 1 Kolbenzug und daraus auch die Gewichtszunahme des Ballons berechnen, die in dem vom Verf. ausgeführten Beispiel 0,070 g betrug, während die direkte Beobachtung an dem geaichten Instrument 0,071 g ergab. Wenn auch bei dieser Übereinstimmung wohl ein glücklicher Zufall mitspielt, so ist die vorgeschlagene instruktive Verwendung des Instrumentes (etwa in Form einer Übungsaufgabe) immerhin beachtenswert. Für den ersten Nachweis des Luftgewichtes möchte aber doch die direkte Wägung eines soge-



nannten „luftleeren" Glasballons — Otto v. Guericke's Fundamentalversuch — vorzuziehen sein. Die längere Dauer des dabei nötigen Pumpens und Wägens darf bei der Wichtigkeit des Versuches nicht in Betracht kommen. Das oben benutzte ‚Dasymeter' ist nicht von Guericke, sondern von Robert Boyle erfunden und zu dem Zwecke, dem es noch heut dient, verwendet worden. Der Apparat von Guericke, der zur Verwechselung Anlass gegeben haben mag, bestand aus einem luftleer gepumpten Gefäss, das an einer Wage äquilibriert war und sowohl beim Wiedereinströmen der Luft die Zunahme des Gewichts, als auch bei tagelanger Aufhängung die Schwankungen des äusseren Luftdrucks erkennen liess; es ist zuerst in Caspar Schott's *„Technica curiosa"* (1664) bekannt gemacht worden.

Versuche mit engen Glasröhren. Wird in einer am einen Ende verschlossenen Glasröhre, deren lichter Durchmesser 2 mm oder weniger beträgt, ein Gasquantum durch einen Quecksilberfaden abgesperrt, so fällt dieser Faden nicht herunter, selbst wenn das offene Ende der Röhre vertikal nach unten gekehrt wird. Für die folgenden, von F. Melde *(Wied. Ann. **32**, 659; 1887)* beschriebenen Versuche müssen die Röhren möglichst gleichen Durchmesser haben und überdies kalibriert werden, was durch Einfüllung genau gleicher Quecksilbermengen geschieht. Der Verschluss des einen Endes wird dadurch hergestellt, dass ein kleiner grade passender Eisencylinder eingeschoben und mit Siegellack oder Kitt befestigt wird; ein vollkommener Verschluss lässt sich durch Eintauchen des bereits zugeklebten Endes in Alkoholsiegellacklösung erreichen. Mit der Röhre wird endlich eine Millimeterskala verbunden. Ist der Quecksilberfaden (mittels eines Glastrichters mit dünn ausgezogenem Rohr) eingefüllt, so kann man beliebig viel von der abgesperrten Luft entfernen, indem man einen dünnen Eisen- oder Stahldraht einführt, der am Ende ein winziges Siegellacktröpfchen trägt, damit die Glaswand nicht zerkratzt wird. 1) Das Mariotte'sche Gesetz wird bestätigt, indem man die Röhre erst mit der Mündung vertikal aufwärts, dann vertikal abwärts kehrt und beide Male die Luftvolumina (v und v'), sowie, wegen der verschiedenen Röhrenweite, die Längen der Quecksilbersäule (h und h') bestimmt. Ist B der Barometerstand, so wird $v'/v = (B + h)/(B - h')$, der Quotient beider Seiten also $= 1$, womit die angestellten Versuche sehr genau zusammenstimmen. 2) Ein solches Röhrchen lässt sich als „Capillarbarometer" zur Bestimmung des Barometerstandes benutzen, wie die vorstehende Formel zeigt. Man erhält $B = (vh + v'h')/(v' - v)$. 3) Um das Ausströmen von Gasen aus feinen Öffnungen zu zeigen, wird ein Platinplättchen mit äusserst feiner Durchbohrung auf das eine Ende der Capillarröhre aufgeklebt und die Zeit (in $^1/_5$ sec.) gemessen, während welcher der Quecksilberfaden von einer Marke bis zu einer tieferen hinabsinkt, wenn das Löchelchen sich unten befindet. Für ein Gas vom specifischen Gewicht s ist, wenn t und t' die Durchgangszeiten für Luft und Gas bedeuten, $s = t'^2/t^2$; für Leuchtgas ergaben die Versuche recht befriedigende Resultate.

Zersprengen eines Gefässes durch gefrierendes Wasser. A. Buguet giebt im *Journ. de Phys. élem. (II, 128; 1887)* die folgenden Formen für diesen Versuch an. Ein Probierglas wird mit Äther gefüllt und mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen, durch dessen Öffnungen ein langes und ein kurzes Glasrohr gesteckt sind. Durch das erste bläst man, mit Hülfe eines Kautschukblasebalges, einen Luftstrom durch den Äther, welcher infolge rascher Verdunstung unter 0° abgekühlt wird. Darauf bringt man eine zugeschmolzene Glaskugel oder auch nur das kugelförmige Ende eines Glasrohrs voll Wasser in den Äther und bläst noch 1 bis 2 Minuten lang Luft durch den Apparat, worauf die Zersprengung der Kugel hörbar und sichtbar erfolgt. Damit der Vorgang nicht durch Beschlagen des Probierglases verdeckt wird, setzt man dieses mittels eines Gummiringes in ein weiteres Gefäss, dessen Boden mit concentr. Schwefelsäure bedeckt ist. Dadurch wird der Niederschlag an der Aussenseite verhindert. Auch dadurch, dass man den Äther in einen Zerstäuber bringt und den entweichenden Luft-Äther-Strom gegen eine Kugel richtet, die mit Wasser gefüllt ist, kann man dieselbe Wirkung hervorbringen; man muss nur dafür sorgen, dass das Gefrieren zuerst an dem oberen, der Öffnung zugewandten Ende der Glaskugel stattfindet.



Transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität. Für die Kenntnis des elektrischen Zustandes der Luft ist, wie F. Exner in den *Sitzb. d. Wien. Akad. Bd. 95 (1887)* auseinandersetzt, erforderlich, dass an möglichst vielen Punkten der Erdoberfläche und von möglichst vielen Beobachtern die Potentialdifferenz zweier Punkte in der Luft bestimmt wird, die auf derselben Vertikalen über einem möglichst ebenen Stück der Erdoberfläche in 1 m Abstand von einander liegen. Die Grösse dieses Potentialgefälles zwischen der Erdoberfläche und einem 1 m über ihr befindlichen Punkte beträgt in unseren Breiten 60—500 Volt, wobei die niedrigsten Werte im Sommer, die höchsten im Winter auftreten; es handelt sich namentlich um die Ermittlung des Maximalwertes, welcher der völligen Abwesenheit von Wasserdampf in der Atmosphäre entspricht, und aus dem sich die Grösse der elektrischen Ladung der Erde ableiten lässt. Für die hierzu erforderlichen Messungen hat Exner ein transportables Elektroskop construiert, das wie ein Aneroid in die Tasche gesteckt werden kann; dies hat sich bei zweijährigem Gebrauch auf Reisen vollkommen bewährt. Es besteht aus einer flachen, etwa 3 cm hohen Messingtrommel A, die an beiden Basisflächen durch Glasscheiben verschlossen ist; unten ist eine Messinghülse B eingesetzt, die nach Belieben auf eine Handhabe aus Messing oder Ebonit aufgesteckt werden kann. Oben ist,

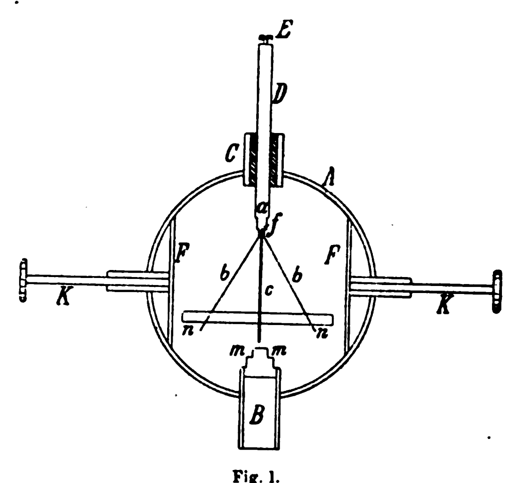


Fig. 1.

in einer zweiten Messinghülse C befindlich, ein isolierender Ebonitpfropfen eingesetzt, durch welchen der Messingstift D mit Klemmschraube E hindurchgeht. Der Stift D trägt zwei Aluminiumblättchen, welche durch ein dünnes Kupferblech c von einander getrennt sind und beim Transport durch zwei verschiebbare Messingplatten F geschützt werden können, die sich bis dicht an die Absätze f, f und m, m heranbringen lassen; vor der Beobachtung werden diese vollständig zurückgezogen. Zum Zweck der Messung ist an der vorderen Glasscheibe eine Millimeterskala angebracht, der in gleicher Höhe an der hinteren Platte ein Visierstreifen n, n gegenübersteht. — Die Kalibrierung des Instruments geschieht mittels einer Wasserbatterie von 200 kleinen Elementen Zn/Pt; auf der Reise kann zu diesem Zweck eine Batterie von 28 Zn/Pt Elementen in Verbindung mit einem Condensator benutzt werden, der wegen seiner Einfachheit auch für Unterrichtszwecke Beachtung verdient. Auf ein Brett A ist eine starke Messingplatte B als untere Condensatorplatte aufgeschraubt; sie trägt zugleich den Stützpunkt D für die obere Platte C; diese ist einerseits durch ein isolierendes Ebonitstück E an den Tasthebel H befestigt und ruht andererseits auf einem Messingstück mit der Klemmschraube A, das von B völlig isoliert ist und noch einen kleinen Riegel a trägt, um die Platte beim Nichtgebrauch in ihrer Lage festzuhalten. Der Abstand beider Platten ist 0,5—0,8 mm. Von B isoliert

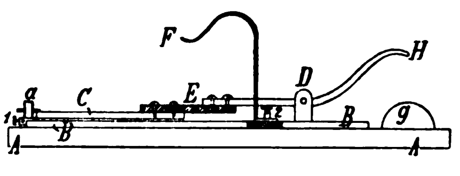


Fig. 2.

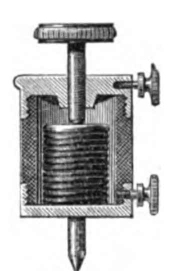
ist auch die Klemmschraube 2 und die damit verbundene Feder F. Wird der Hebel A bis G herabgedrückt, so kommt die obere Platte C mit F in Berührung. Der Gebrauch des Apparats geschieht so, dass man 1 dauernd mit dem einen Pol der kleinen Batterie, 2 mit dem Elektroskop verbindet, während B mit der Batterie in der Weise verbunden wird, dass successive 5, 6, 7 ... Elemente eingeschaltet sind. Bei jeder Einschaltung setzt man den Hebel H so lange wie eine Wippe in Bewegung, bis am Elektroskop keine Steigerung der Divergenz mehr eintritt; ist n die experimentell bestimmte (annähernd

20

auch durch Berechnung ermittelbare) Verstärkungszahl des Condensators, so entspricht dem beobachteten Ausschlage ein n mal so grosses Potential, als das der eingeschalteten Elemente.

Bei den Beobachtungen über Luftelektricität dient als Aufhängevorrichtung eine Kerzenflamme, die isoliert auf einen Stock aufgesetzt wird und in welche ein verstellbarer Kupferdraht mit Platinspitze hineinragt, der seinerseits mit dem Elektroskop verbunden wird. Sämtliche Apparate werden von dem Mechaniker H. Schorss in Wien angefertigt.

Die Widerstandsschraube, welche W. Engelmann in der *Ztschr. f. Instrumentenk. 1887, S. 333* beschreibt, ist ein Rheostat, welcher auf demselben Prinzip wie das Mikrophon beruht und auch zur Erläuterung dieses Prinzips verwendbar erscheint. Ein oben und unten metallisch geschlossener Cylinder aus nichtleitendem Material (Ebonit, Elfenbein, Terpentin) enthält eine Säule von Kohlenplatten, welche durch eine den Deckel durchsetzende Druckschraube mehr oder weniger zusammengepresst werden können. Zehn Plättchen sehr gut leitender Batteriekohle von 1 cm Durchmesser und 0,3 bis 0,5 mm Dicke gestatten z. B. den Widerstand continuierlich von 0,1 bis 20 Ohm zu variieren; mit dickeren Platten, deren Widerstand durch Gelatinezusatz erhöht ist, erreicht man Abstufungen bis über 20000 Ohm, ja bis zu mehreren 100000 Ohm. Die beistehende Figur zeigt das einfachste, für Glühlampen von 2—5 Volt Spannung bestimmte Modell. Eine auf die Dauer genaue Aichung des Rheostaten hält der Verf. selbst für kaum ausführbar, doch ist eine solche bei der Verwendung des Apparats für Beleuchtungszwecke und physiologische Untersuchungen entbehrlich.



Demonstration der Wirkungsweise des Mikrophons. Von G. Krebs wird in der *Elektrot. Rundsch. 1888, No. 1* ein Apparat angegeben, der im Prinzip dem vorstehend beschriebenen ähnlich ist. Auf ein Holzbrettchen ist ein Stück Glasrohr von ca. 5 cm Höhe und 1—1 $^1/_2$ cm Weite montiert. Das Glasrohr hat unten einen Messingboden und oben eine Messingfassung, durch welche eine Messingschraube hindurch geht; diese endigt innerhalb des Glasrohrs in einer Messingplatte von der Weite der Röhre. Die Fassung oben und der Messingboden unten sind mit zwei Klemmschrauben leitend verbunden. Im Innern des Glasrohres befindet sich Kohlenpulver. Schaltet man in den Stromkreis eines Bunsen'schen Elementes diesen Apparat sowie ein Vertikalgalvanometer ein, so erhält man, wenn die Schraube hinlänglich heraufgeschraubt worden, keinen Ausschlag der Nadel; lässt man aber die Schraube durch Drehen am Kopf derselben sich abwärts bewegen, so zeigt die Nadel einen immer mehr sich vergrössernden Ausschlag. Bei derselben Gelegenheit empfiehlt der Verf., die Wirkungsweise eines (Berliner'schen) Mikrophons dadurch anschaulich zu machen, dass man es mit einem Vertikalgalvanometer in den Stromkreis eines Bunsen-Elementes einschaltet und den Widerstand durch Drücken des Fingers auf den Contaktkörper variiert.

Physik ohne Apparate. 1. An einen Federhalter mit Metallhülse am unteren Ende wird ein Papierstreifen geklebt, so dass er halb am Metall, halb am Holze liegt. Wird das Papier von unten durch eine Spiritusflamme erhitzt, so verkohlt nur der am Holze anliegende Teil, während der am Metall befindliche weiss bleibt (verschiedenes Leitungsvermögen von Holz und Metall).

2. An den Fuss eines mit der Öffnung abwärts gehaltenen Weinglases befestigt man mittels eines Fadens einen kleinen Metallknopf so, dass dieser neben dem Rand des Glases zu hängen kommt. Der Knopf geräth in schwingende Bewegung, wenn man das Glas an der gegenüberliegenden Seite mit einem Bleistift anschlägt. *(La Nature, 1887, No. 752.)*



2. *Forschungen und Ergebnisse.*

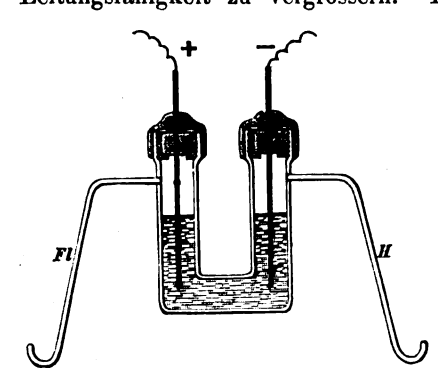
Die Dimensionen der elektrischen Maasse. Die elektrische Capacität, ausgedrückt in elektrostatischen Einheiten, hat die Dimension einer Länge, der Widerstand in elektromagnetischen Einheiten diejenige einer Geschwindigkeit. Dimensionen dieser Art sind nach G. Lippmann *(C. R. 105, 738)* einer physikalischen Deutung fähig; sie bedeuten, dass die betrachteten Grössen einer Länge, einer Geschwindigkeit proportional sind und dass ihre Messung auf die Messung von einer Länge, einer Geschwindigkeit zurückgeführt werden kann. Soll die Capacität einer Leydener Flasche bestimmt werden, so kann man eine Metallkugel construieren, deren Radius so lange zu vergrössern ist, bis ihre Capacität derjenigen der Leydener Flasche gleich ist. Handelt es sich um den Widerstand, so denke man sich auf einem Draht eine bestimmte Länge abgegrenzt und dieses Stück parallel zu sich selbst in einem magnetischen Felde bewegt und dabei mit einem Magnetpol in festem Abstande verbunden. Es lässt sich dann zeigen, dass die Geschwindigkeit, bei der die Einwirkung des magnetischen Feldes und des induzierten Stromes auf den Magnetpol sich aufheben, diejenige Grösse ist, deren Messung zur Bestimmung der Grösse des Widerstandes hinreicht.

Zerlegung des Wassers durch die Elektrisiermaschine. Bei Gelegenheit von Versuchen, welche G. Govi mit übersättigten Lösungen anstellte *(Rendiconti Acc. Nap. (9) I, 137; 1887)* ergab sich, dass die Elektrisiermaschine sichtbar und mit merklicher Energie das Wasser von übersättigten Salzlösungen zerlegt, wenn diese vom atmosphärischen Drucke befreit sind. Eine in der Wärme übersättigte Lösung von schwefelsaurem Natron wurde in einem eigens construierten Apparat vorsichtig aufgekocht und dann abgekühlt, so dass über der Flüssigkeit ein Vacuum entstand. Dann wurde mittels isolierter Platindrähte der Strom einer Holtz'schen Maschine durchgeleitet, der in der verdünnten Luft im leeren Teile der Röhre als purpurfarbiges Büschel erschien. Jeder durchschlagende Funke bewirkte, dass sich der Platindraht mit Gasbläschen bedeckte, die beim Aufsteigen in der Flüssigkeit den Eindruck hervorriefen, als ob diese ins Sieden geriete. Wurde dann die Lösung längere Zeit abgekühlt und von neuem dem Versuche ausgesetzt, so veranlasste der Funke kein Aufkochen mehr, sondern es stiegen die Blasen vom Platindraht ganz so in die Höhe, wie bei der Elektrolyse durch den galvanischen Strom. *(Naturw. Rdsch. II, 496; 1887.)*

Die Darstellung des Fluors. In den *Annales de chimie et de physique* (6) *XII, 472—537* (*Dezbr. 1887*) veröffentlicht H. Moissan die Versuche, welche ihn schliesslich zur Isolierung des Fluors führten und das Studium seiner Eigenschaften gestatteten. Der Verfasser suchte zunächst ohne Erfolg eine Anzahl von Verbindungen des Fluors mit Metalloiden zu zersetzen, und zwar einmal durch die Einwirkung des elektrischen Funkens, sodann durch die Wirkung von erhitztem Platinschwamm. Besonders beständig war das Siliciumfluorid, welches weder auf die eine noch auf die andere Weise zersetzt werden konnte, was sich auch aus seiner bedeutenden Bildungswärme (+ 134,7 Cal. nach den Beobachtungen von Guntz, *Ann. d. chim. et de phys.* (3) *XLVII, 24*) vermuten liess. Auch die Verbindungen des Fluors mit dem Phosphor, von denen nach den Untersuchungen des Verfassers zwei existieren (PFl_3 und PFl_5), ergaben kein Resultat. Zwar wird durch die Einwirkung eines Induktionsfunkens von 4 cm Länge wie auch durch stark erhitzten Platinschwamm das Phosphortrifluorid zersetzt; allein das abgeschiedene Fluor vereinigt sich sofort mit unzersetztem Trifluorid zu Phosphorpentafluorid, welches dann schwächeren elektrischen Einwirkungen widersteht, durch stärkere Funken (von 2 dm Länge) aber in PFl_3 und Fl_2 zerlegt wird, sodass man nur ein stark verdünntes Fluor erhält. Dasselbe ist der Fall, wenn man Phosphorpentafluorid über stark erhitzten Platinschwamm leitet. Das Borfluorid wird durch erhitzten Platinschwamm nicht zersetzt. Die besten Resultate lassen sich in dieser Beziehung noch mit dem Arsenfluorid, $As\,Fl_3$, erhalten,

einer Flüssigkeit von ausserordentlich giftiger Wirkung, die bei 63° siedet. Wird diese Verbindung im Eudiometer durch Wasserdampf in den gasförmigen Zustand übergeführt und der Einwirkung des Induktionsfunkens ausgesetzt, so zersetzt sie sich. Der grösste Teil des entstehenden Fluors kann aber nicht im isolierten Zustande erhalten werden, weil er sofort zersetzend auf das Glas einwirkt und $SiFl_4$ bildet. Das flüssige Arsenfluorid wird durch einen kräftigen galvanischen Strom — 70 Bunsen'sche Elemente — unter starkem Geräusch zersetzt, wenn man die Flüssigkeit durch Fluorwasserstoff-Fluorkalium (HFl, KFl) leitungsfähig gemacht hat. War das Arsenfluorid durch Rektifikation ganz rein dargestellt, so entweicht das bei der Elektrolyse entstehende Gas nicht aus der Flüssigkeit, sondern es bildet sich wahrscheinlich ein Arsenpentafluorid. Ist dagegen das Arsenfluorid nicht ganz rein, so entweicht bei der Elektrolyse Sauerstoff, wahrscheinlich infolge der Zersetzung eines Oxyfluorid (die Existenz eines solchen ist vom Verfasser für den Phosphor nachgewiesen).

Der Verfasser kam deshalb wieder darauf zurück, die elektrolytische Zerlegung der Fluorwasserstoffsäure zu versuchen, die er nach dem Vorgange von Fremy durch Zersetzen des Fluorwasserstoff-Fluorkaliums in der Hitze darstellte. Schon Gore hatte sich im Jahre 1869 mit dieser Frage beschäftigt, aber ohne Erfolg; die früheren Versuche, die Flusssäure zu zerlegen, konnten schon deshalb zu keinem Resultate führen, weil man es vor Fremy niemals mit der wasserfreien Säure zu thun hatte, und weil das Wasser sofort durch das etwa abgeschiedene Fluor unter Entwicklung von Sauerstoff zerlegt wird. Die reine Säure leitet aber, wie Faraday, Gore u. a. beobachteten, die Elektrizität nicht. Deshalb handelte es sich zunächst darum, ein Mittel zu finden, um die Leitungsfähigkeit zu vergrössern. Dies bot sich in dem bereits beim Arsenfluorid angewandten Fluorwasserstoff-Fluorkalium, welches sich in der flüssigen, bei + 19,5° siedenden Flusssäure leicht auflöst. Der Apparat, dessen sich der Verfasser schliesslich bediente, bestand aus einer zweimal rechtwinklig gebogenen Platinröhre von $1^1/_2$ cm Durchmesser, deren Schenkel 9,5 cm hoch waren. Der Verschluss eines jeden Schenkels war dadurch hergestellt, dass ein Flussspatpfropfen dicht in einen Hohlcylinder aus Platinblech eingefügt und dieser mittels eines Schraubengewindes in den Schenkel eingeschraubt war. Zur grösseren Dichtung war der ganze Pfropfen mit Gummilack überzogen.



Durch jeden Pfropfen ging ein Platindraht von 2 mm Stärke, der 3 mm über dem Boden der Röhre endigte. Unterhalb jedes Pfropfens endlich waren zwei engere Platinröhren seitlich angefügt, die bei der Elektrolyse entstehenden Gase fortzuleiten. Der ganze Apparat befand sich in flüssigem Methylchlorid, welches durch einen Luftstrom schnell zum Verdampfen gebracht werden konnte und so eine Temperaturerniedrigung auf — 50° hervorrief. Zur Zersetzung reichte der Strom von 20 grossen Bunsen'schen Elementen aus; eine grössere Zahl von Elementen ist nachteilig, weil durch dieselben nur eine Temperatursteigerung hervorgebracht wird. Am negativen Pole entwickelte sich Wasserstoff, am positiven das Fluor.

Das so erhaltene Fluor ist ein farbloses Gas von eigentümlichem, durchdringendem, an den der unterchlorigen Säure erinnerndem Geruch, welches die Schleimhäute des Halses und der Augen stark reizt. Schwefel schmilzt erst und entzündet sich alsdann in dem Gase, ebenso Selen. Tellur, Arsen, Antimon vereinigen sich mit dem Gase unter Erglühen. Phosphor entzündet sich im Fluor und verbrennt teilweise zu PFl_5, teilweise zu PFl_3; ein Teil verwandelt sich wahrscheinlich auch in $POFl_3$. Ein Stückchen Jod vereinigt sich mit dem Gase unter Bildung einer schwach leuchtenden Flamme; in einer Atmosphäre von Joddampf verbrennt das Fluor mit Flamme. Bromdampf verliert durch

Fluor sofort seine dunkelbraune Färbung und die Vereinigung erfolgt bisweilen unter Explosion. — Auf Kohlenstoff scheint das Fluor ohne Einwirkung zu sein. — Krystallisiertes Silicium wird auch in der Kälte in dem Gase glühend und verbrennt mit lebhaftem Glanze, bisweilen unter Funkensprühen zu $SiFl_4$. — Diamantförmiges Bor verbrennt ebenfalls im Fluor, aber schwieriger als Silicium. Die im Bor enthaltene geringe Menge von Kohlenstoff und Aluminium verhindert die Vereinigung; wird das krystallisierte Bor indess pulverisiert, so erglüht es im Fluor, und das Produkt der Vereinigung raucht stark an der Luft. — Mit dem Wasserstoff vereinigt sich das Fluor bereits im Dunkeln und bei niedriger Temperatur unter heftiger Detonation. Diese Vereinigung erfolgt z. B., wenn während der Elektrolyse der Flusssäure der Strom umgekehrt wird. Wird ein Strom Wasserstoff in Fluor geleitet, so entzündet sich der Wasserstoff. — Metalle werden meist weniger heftig angegriffen, weil die entstehenden Fluoride nicht flüchtig sind und das Metall mit einer die weitere Einwirkung verhindernden Schicht überziehen. Kalium und Natrium erglühen im Fluor unter Bildung der entsprechenden Fluoride. Ebenso verhält sich Calcium. Magnesium und Aluminium werden zwar ebenfalls glühend, die Einwirkung ist aber wenig energisch. Wird das Aluminium vorher bis zur Dunkelrotglut erhitzt, so erfolgt die Vereinigung unter lebhhaftem Erglühen. Der Rückstand besteht alsdann aus kleinen geschmolzenen Metallkügelchen, die mit einer durchsichtigen Schicht von Aluminiumfluorid überzogen sind. — Pulverförmiges Eisen und Mangan verbrennen unter Funkensprühen, wenn die Metalle vorher gelinde erwärmt werden. — Blei wird in der Kälte in Bleifluorid verwandelt, ebenso Zinn. — Quecksilber absorbiert das Fluor vollständig bei gewöhnlicher Temperatur unter Bildung von hellgelbem Hydrargyrofluorid, welches beim Erhitzen in Glasgefässen unter Abscheidung von Quecksilber und Bildung von Siliciumfluorid zerfällt. — Gelinde erwärmtes Silber bedeckt sich mit einer Schicht feinen (in Wasser leicht löslichen) Fluorids. — Gold und Platin werden in der Kälte nicht angegriffen. Beim Erhitzen auf 300—400° bedeckt sich das Platin mit einer kastanienbraun gefärbten Schicht. Diese Verbindung zerfällt in der Rotglühhitze unter Zurücklassung von Platinschwamm und Entweichen von Fluor. Ähnlich verhält sich das Gold. — Festes Kaliumjodid wird durch Fluor sofort unter Abscheidung von Jod geschwärzt; Blei- und Quecksilberjodid werden unter Erglühen zersetzt, indem reichliche Mengen von Joddämpfen entweichen, welche sich mit überschüssigem Fluor sogleich zu Jodfluorid vereinigen. Gleichzeitig entsteht weisses Bleifluorid, resp. gelbes Quecksilberfluorid. — Geschmolzenes Kaliumchlorid wird in der Kälte unter Entwickelung von Chlor zersetzt, welches sich schon durch den Geruch zu erkennen giebt. — Trockenes Chlorsilber wird durch das Fluor gelb gefärbt. — Kaliumbromid wird durch das Fluor unter Entwickelung von Bromdämpfen zersetzt. — Phosphorpentachlorid zersetzt sich unter Flammenerscheinung und Bildung von dichten weissen Nebeln. — Ein Jodoformkrystall entzündet sich im Gase unter Entwickelung von Joddämpfen. — Trockenes Glas wird stark angegriffen. — Schwefelkohlenstoff entzündet sich in dem Gase. — Alle wasserstoffhaltigen organischen Verbindungen werden heftig angegriffen. Holz wird sofort verkohlt und entzündet sich; ebenso werden Alkohol, Äther, Benzin, Terpentinöl und Petroleum entzündet. — Wasser wird in der Kälte unter Bildung von Flusssäure und Entwickelung von Ozon zersetzt.

Am Schluss seiner Abhandlung teilt der Verfasser die Versuche mit, welche er unternahm, um nachzuweisen, dass das bei der Elektrolyse der Flusssäure am positiven Pole entstehende Gas in der That das Element und nicht eine Verbindung, etwa ein Perfluorid des Wasserstoffs, oder ein Gemisch von Flusssäure mit Ozon ist, welches letztere alsdann die beobachteten energischen Einwirkungen erklären würde. Er stellte direkt ein Gemisch von Ozon und Flusssäuredämpfen dar und zeigte, dass dasselbe unter den Versuchsbedingungen keine der oben beschriebenen Reaktionen giebt. Ausserdem wird bei der Elektrolyse selbst dann Ozon entwickelt, wenn die Säure Wasser enthält. Auch dann zeigte das am positiven Pol entstehende Gas andere Eigenschaften als das Fluor. Dass aber das Gas kein Wasserstoffperfluorid sein kann, zeigte der Verfasser dadurch,



dass er dasselbe in Wasser leitete und die Menge der entstandenen Flusssäure bestimmte. Er fand, dass die Zersetzung nach der Gleichung erfolgt:

$$2 Fl + H_2 O = 2 HFl + O,$$
2 Vol. 2 Vol. 4 Vol. 1 Vol.

während im andern Falle die Zersetzung nach der Gleichung

$$2 HFl_2 + H_2 O = 4 HFl + O$$
4 Vol. 2 Vol. 8 Vol. 1 Vol.

vor sich gehen würde, sodass die doppelte Menge HFl hätte entstehen müssen. Ferner wurde der Nachweis, dass Fluor am + Pole entstand, dadurch geliefert, dass der Verfasser das Gas über rotglühendes Eisen leitete, von welchem es vollständig absorbiert wurde, während sich die Verbindung HFl_2 unter Wasserstoffentwickelung hätte zersetzen müssen. *Bgr.*

---

3. Geschichte.

Die Pendeluhr Galilei's. Durch einen Aufsatz von W. C. L. v. Schaïk in der *Ztschr. f. Instrumentenk. VII, 350 und 428 (1887)* ist die Aufmerksamkeit wieder einmal darauf gelenkt worden, dass Galilei lange vor Huygens eine völlig brauchbare Pendeluhr erfunden hat. Galilei diktierte 1641, bereits erblindet, seinem Sohne Vincenzo und seinem Schüler Viviani die Beschreibung und die Zeichnung des Instrumentes; nach seinem Tode wurde von Vincenzo 1649 ein (nicht ganz vollendetes) Modell angefertigt, das nicht erhalten geblieben ist. Eine Nachbildung der in Florenz vorhandenen Originalzeichnung findet sich bereits in den *Opere di Galilei, ed. Albèri, vol. XV* und u. a. auch in Pfaundler's Lehrbuch (9) I. Eine zweite, vom Verfasser reproduzierte Abbildung stammt aus den Mss. Hugeniana zu Leyden; sie ist 1660 an Huygens gelangt und zuerst 1814 von van Swinden bekannt gemacht worden. Der Verf. vergleicht jene mit dieser und bemerkt, dass beide von verschiedenen Standpunkten aufgenommen sind, deren Projektionslinien einen Winkel von 40° miteinander bilden; er glaubt daraus den Schluss ziehen zu sollen, dass ein wirkliches Modell von Galilei's Pendeluhr existiert hat. Der Verfasser giebt auch die richtige Deutung von den einzelnen Teilen des Echappements, worüber van Swinden noch im Unklaren sein durfte, worüber aber nach der Veröffentlichung in den ‚*Opere*' kaum noch ein Zweifel bestehen konnte. Von den beistehenden Figuren giebt die erste den oberen Teil der in Florenz befindlichen Zeichnung, die zweite eine schematische Darstellung des Echappements; in dieser bezeichnet P die Pendelstange, M deren Achse, r einen Hebel, der durch den Stift A des Zahnrades bis B mitgeführt wird und auf das Pendel einen kleinen Anstoss überträgt; qs einen zweiten Hebel, durch dessen Vermittlung nach dem Loslassen des Hebels r eine Hemmung s sich vor den nächsten Zahn des Zahnrades schiebt. Der Teil Nq ist demzufolge als eine Verbindung zweier Hebel aufzufassen, von denen der eine um N, der andere um M drehbar ist. Die Schnur mit dem Gewicht ist auf die Achse eines tiefer gelegenen Rades aufgewickelt zu denken. Die Hemmung

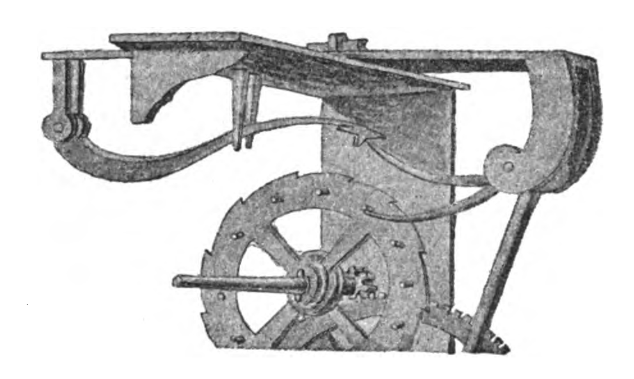


Fig. 1.

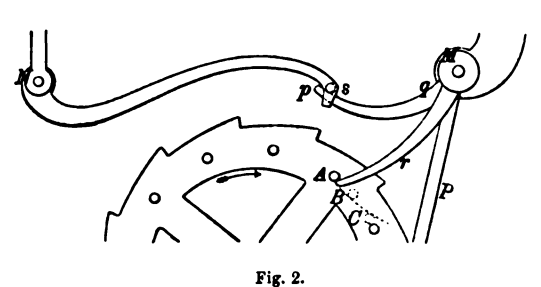


Fig. 2.

ist nach dem Urteil des Verfassers eine fast vollkommene und steht selbst den heut gebräuchlichen Echappements wenig nach; in der That hat sie vor dem Huygens'schen Spindel-Echappement den Vorzug einer fast ganz freien Pendelbewegung und einer geringen Schwingungsamplitude; sie enthält mit einem Wort die Grundidee des Graham'schen Ankers, der erst ein Jahrhundert später in Anwendung kam. Schon 1854 ist von Veladini in Florenz das Echappement Galilei's reconstruiert worden, neuerdings haben Meucci und Porcellotti eine mit dieser Hemmung versehene Pendeluhr hergestellt, welche sich in Florenz befindet und regelmässig geht.

Durch den genannten Aufsatz ist E. Gerland veranlasst worden, in derselben Zeitschrift (*VIII, 77; 1888*) auf die von ihm bereits 1878 (*Wied. Ann. IV, 585*) veröffentlichten Forschungen zur Geschichte der Erfindung der Pendeluhr zurückzukommen. Er hebt besonders hervor, dass Huygens seine Erfindung (1656) gemacht hat, ohne etwas von dem Entwurf Galilei's zu wissen, und dass er die Priorität Galilei's späterhin ausdrücklich anerkannt hat. Während aber Galilei's Apparat lange unbekannt blieb und nie Verwendung gefunden hat, fand der von Huygens sehr bald allgemeinen Anklang und Anwendung. Huygens benutzte ein Fadenpendel, das sich mit Leichtigkeit an den damals üblichen Uhren anbringen liess, was mit Galilei's Construktion nicht der Fall war. Den Schluss van Schaïck's, dass ein wirkliches Modell existiert habe, hält Gerland nicht für zutreffend, er sieht vielmehr in der Leydener Zeichnung nur eine rohe Skizze der Florentiner Originalzeichnung, welche nur deshalb in veränderter Lage wiedergegeben wurde, damit die Teile, auf die es besonders ankam, gut gesehen werden konnten.

Ein neuerer Versuch von Wolf, die auch in seiner *Geschichte der Astronomie* (1876) erhobenen Prioritäts-Ansprüche zu Gunsten des Toggenburgers Joost Byrgi zu stützen, erscheint nach Gerland's Ausführungen darüber als unhaltbar.

Joachim Jungius und die Atomistik. Um dieselbe Zeit, in welcher Galilei Unsterbliches schuf, wirkte im Norden Deutschlands ein Mann, den E. Wohlwill in einer kürzlich erschienenen Monographie[1]) als unabhängigen und produktiven Denker zu Ehren bringt. J. Jungius (1587—1657) war ein entschiedener Bekämpfer der aristotelischen Lehre von der ‚Actupotentialität' und den ‚substantialen Formen', ein Verkünder des Erfahrungsprinzips und der atomistischen Naturerklärung. Er hat eine deutliche Idee von der Gesetzmässigkeit in der Natur; was er als ‚Axiom' und als ‚Hypothese aller Hypothesen' hinstellt, ist im Grunde nichts als die Voraussetzung der Begreiflichkeit der Welt, nach heutiger Bezeichungsweise. Teils aus den 1662 veröffentlichten ‚*Doxoscopiae physicae Minores*', teils aus zwei ‚Disputationes' des Hamburgischen Gymnasiums von 1642, teils aus den MSS. der Hamburgischen Stadtbibliothek wird der Nachweis geführt, dass Jungius bereits die Gedanken entwickelt hat, welche man in der Geschichte der Chemie an Boyle anzuknüpfe ngewöhnt ist. Nicht Transformation, sondern ‚Syndiakrise' d. h. Mischung und Entmischung und ‚Metasynkrise' d. h. Umlagerung der kleinsten Teile sind ihm für das Verständnis der chemischen Vorgänge maassgebend (Abscheidung von Kupfer aus Kupfervitriol durch Eisen, Verwandlung von Wein in Essig). Er verhält sich skeptisch gegen die künstliche Herstellung des Goldes, widerlegt die Verwandelbarkeit von Wasser in Luft, bestreitet die Zusammensetzung der Körper aus Salz, Schwefel und Merkur, und gelangt zu dem exakten Begriff des chemischen Elementes: *„Es folgt nicht, dass alles, was bisher nicht zerlegt werden konnte, nicht zusammengesetzt ist, . . . wenn aber etwas nicht zerlegt werden kann, von dem man nicht weiss, dass es zusammengesetzt ist, so kann dies für einen einfachen oder völlig homogenen Körper gehalten werden."* Ja eine Vorstellung von dem, was

[1]) Joachim Jungius und die Erneuerung atomistischer Lehren im 17. Jahrhundert. Ein Beitrag zur Geschichte der Naturwissenschaft in Hamburg. Von Dr. Emil Wohlwill. Sonder-Abdruck aus Band X. der ‚Abhandlungen aus dem Gebiet der Naturwissenschaften (Festschrift zur Feier des 50jährigen Bestehens des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg). Hamburg, 1887.



heut ‚Wahlverwandtschaft‘ heisst, und von dem Wirken einer Molekularkraft (cohaesivitas permistorum), lässt sich in mehreren Aussprüchen erkennen. Dass diese Ansichten, welche durch die 28 Jahre umfassende Lehrthätigkeit Jungius' am akademischen Gymnasium zu Hamburg weite Verbreitung gefunden haben, auf die Entwicklung der Wissenschaft von Einfluss gewesen sind, wird sich nicht in Abrede stellen lassen. — Bemerkenswert ist endlich noch, dass auch der Keim der Phlogistontheorie sich bei Jungius findet, und dass der Ursprung dieser Lehre auf eine Stelle in Galilei's *‚Saggiatore‘ (Opere IV, 313—14)* zurückgeführt werden kann; dort ist die Möglichkeit des Schwererwerdens bei gleichzeitigem Substanzverlust durch Berufung auf das negative Gewicht leichterer Körper in einem specifisch schwereren Medium erläutert.

---

4. Unterricht und Methode.

Das Parallelogramm der Bewegungen und der Kräfte. Im *Programm des Wettiner Gymnasiums zu Dresden 1887* teilt R. Heger zunächst die das Thema betreffenden Stellen aus den Schriften Stevin's, Galilei's, Roberval's und Varignon's mit, er stellt dann diesen die Darstellung des Satzes in einigen neueren Lehrbüchern (Resal, Helm u. a.) gegenüber und setzt seine Einwendungen dagegen auseinander. Seine eigene Ansicht fasst er in folgenden vier Sätzen zusammen: 1) Die Zusammensetzung der Bewegungen im physikalischen Sinne ist ein unbeweisbarer Grundsatz der Mechanik. 2) Der Unterschied zwischen der geometrischen Zusammensetzung und der physikalischen ist bei jedem systematischen Lehrgange der Mechanik deutlich hervorzuheben. 3) In Übereinstimmung mit der geschichtlichen Entwickelung der Mechanik ist die physikalische Zusammensetzung durch die Besprechung der geometrischen vorzubereiten. 4) Die Zusammensetzung von Bewegungen, die in dieselbe Gerade fallen, bedarf einer kinematischen Vorbereitung nicht; die Forderung, zur Erklärung der Naturerscheinungen immer zunächst die einfachsten, nächstliegenden Gedanken zu verwenden, genügt, um die Setzung dieses Grundsatzes zu vermitteln.

Gegen diese allgemeinen Sätze lässt sich gewiss nichts sagen, es kommt darauf an, wie sie angewendet werden. Um dies zu zeigen, giebt der Verfasser im zweiten Teile eine Einleitung in die Mechanik. Er beginnt mit der Erörterung der gleichförmigen und der ungleichförmigen Bewegung (der Begriff der Beschleunigung wird hier vermieden); dann heisst es: „Wenn ein Körper (‚Massenpunkt‘) der bisher ruhte, plötzlich von einer Kraft beeinflusst wird, so kommt er in Bewegung“. Aus der Beharrung und einer constanten Kraft wird dann das Schema für eine gleichförmig beschleunigte Bewegung abgeleitet, erst dann wird die Beschleunigung definiert. Dieser Gang giebt, meines Erachtens, weder von den grundlegenden Begriffen noch von der Methode physikalischen Erkennens dem Lernenden eine richtige Vorstellung. Die Beschleunigung ist zunächst ein rein geometrischer Begriff. Zu den Begriffen Kraft und Masse und zu der Beziehung Kraft gleich Masse mal Beschleunigung gelangt man nur durch ganz bestimmte Beobachtungen. Man wird nicht bis auf's kleinste den Wegen Galilei's und Newton's zu folgen haben — im Gegenteil, es lässt sich heute Manches einfacher und klarer darstellen — aber die Reihe der Thatsachen, auf Grund derer jene Forscher und ihre Zeitgenossen die Dynamik geschaffen haben, muss auch heute noch dem Lernenden klar vorgeführt werden, denn aus ihnen allein lässt sich die Berechtigung zu den obigen Definitionen herleiten.

Im letzten Abschnitt wird nach den oben mitgeteilten Grundsätzen die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte in, wie mir scheint, durchaus einwurfsfreier Weise behandelt. Methodisch würde ich es jedoch für zweckmässiger halten, sofort nach Aufstellung des Grundsatzes einige wichtige Beispiele, besonders die Wurfbewegung, zu erörtern und dann erst zu der allgemeinen Darstellung einer krummlinigen Bewegung durch ihre Projektionen überzugehen. Denn nur aus der Übereinstimmung mit der Erfahrung ergiebt sich, wie ja auch der Verfasser betont, die Richtigkeit des Satzes. *A. V.*



Die Apparate zur Demonstration der gleichmässig veränderlichen Bewegung. In einer Programm-Abhandlung *(Pr. Nr. 326, Bielefeld 1887)* hat Th. Bertram die Apparate zusammengestellt, welche in der neueren Litteratur sowohl zur Vorführung des freien Falls als auch zu derjenigen des verzögerten Falles angegeben sind. Abhandlungen dieser Art sind recht wertvoll, da eine Orientierung über die Gesamtheit der vorhandenen Lehrmittel der Auswahl der geeignetsten unter ihnen vorausgehen muss. Der Verfasser hat mit vollem Verständnis für die Bedürfnisse des Unterrichts den Stoff gesichtet; er hebt namentlich die Wichtigkeit der Atwood'schen Fallmaschine hervor, lehnt aber mit Recht Complizierungen wie die elektrische Auslösung des fallenden Gewichts ab; selbst Friktionsräder für die Axe der Rolle hält er für überflüssig, da er in der Diskussion der Reibung, ebenso wie in der Berücksichtigung des Trägheitsmomentes, eine instruktive Erweiterung der Grundversuche erblickt. Auch macht er auf Marianini's Vorschlag, die bewegende Kraft durch Abheben eines Übergewichts auf der steigenden Seite zu vergrössern, aufmerksam, sowie auf Pfaundler's sinnreiche Methode [Lehrbuch (9) I, 170 ff.], die bewegende Kraft durch Benutzung einer kleinen Mariotte'schen Flasche oder einer dünnen biegsamen Kette continuierlich zu ändern. Die Notwendigkeit eines genauen Zeitmessers für die Unterrichtssammlung tritt auch hier wieder hervor; der Verfasser empfiehlt eine Terzien-Uhr oder einen Vibrations-Chronographen nach v. Beetz. *P.*

Zum Unterricht in der Wärmelehre. Eine Abhandlung von Duda ‚Über die durch Erwärmung bewirkte Ausdehnung der Körper‘ *(Programm des Gymnasiums zu Brieg 1887)* zeigt von neuem, wie lebhaft das Bedürfnis nach einer Reform des Unterrichts in der Wärmelehre sich fühlbar macht, und andererseits wie schwer es für einen ‚denkenden Kopf‘ ist, der Versuchung einer theoretisch deduktiven Darstellung des Gegenstandes zu widerstehen. Der Verfasser erhebt mit Recht Einspruch dagegen, dass der Satz ‚feste und gasförmige Körper dehnen sich durch Erwärmung gleichmässig aus‘, als Erfahrungssatz gelehrt werde, solange nicht der Begriff der ‚gleichmässigen Wärmezunahme‘ festgestellt sei. Er zieht es daher vor, die Wärmelehre (in Unter-Sekunda) mit Auseinandersetzungen über Schwingungen der Äthermoleküle, Arbeit und lebendige Kraft, Verwandlung von Arbeit in Wärme und umgekehrt zu beginnen. Aus dem Verhalten der Äthermoleküle deduziert er den Satz, dass alle Körper durch Erwärmung ausgedehnt werden, sowie die Sätze über Änderung des Aggregatzustandes; das Gay-Lussac'sche Gesetz, endlich das vorhin erwähnte Ausdehnungsgesetz für feste Körper. Die beiden letzten Folgerungen werden nur möglich durch die ‚Annahme‘, dass die Erhöhung der Schwingungsenergie und die geleistete Ausdehnungsarbeit bei jeder Wärmezuführung proportional sind. Auch die Richmann'sche Regel wird aus der Voraussetzung, dass die Temperatur der lebendigen Kraft proportional sei, hergeleitet und als durch die Erfahrung bestätigt angesehen. In der Diskussion der Angaben des Quecksilberthermometers stimmt der Verf. in vieler Hinsicht mit den Ausführungen von E. Mach (d. Zeitschr. I, 3) überein; die hierauf bezüglichen experimentellen Erläuterungen (S. 16—18) sind der Beachtung wert, auch wenn einer mehr an das Erfahrungsmaterial anknüpfenden Darstellungsweise der Vorzug gegeben wird. Für eine solche Darstellungsweise, welche der unmittelbaren Bearbeitung des Wirklichen zugewendet ist, werden die erwähnten Ausführungen Mach's in erster Reihe in Betracht zu ziehen sein. *P.*

---

5. Technik und mechanische Praxis.

Isolationsmittel gegen strahlende Wärme. S. Scheiner teilt (*Ztschr. f. Instrumentenk. **VII**, 271; 1887*) Untersuchungen mit, bei denen die Strahlenwirkung einer dunkeln Wärmequelle, von circa 300° durch verschiedenartige Platten hindurch mittels einer Thermosäule gemessen wurde. Da die Dicke der Platten so gewählt war, dass eine direkte Durchstrahlung ausser Betracht kam, so konnte angenommen werden, dass die auffallenden Strahlen, soweit sie nicht an der Oberfläche reflektiert werden, im Innern vollständige

Absorption erleiden und dass von der Rückseite eine neue, durchaus selbständige Wärmestrahlung nach der Thermosäule hin beginnt, deren Intensität je nach Oberflächenbeschaffenheit und Leitungsvermögen verschieden befunden wurde. Blanke Metalle zeigten sich hierbei schlechten Wärmeleitern bedeutend überlegen und können demzufolge, bei ihrer hohen Athermansie, bereits in sehr geringer Dicke erfolgreich verwendet werden. Hinter einem Stanniolblatt von 0,02 mm Dicke zeigte die Thermosäule innerhalb $70^{\text{min.}}$ eine Temperaturzunahme um 0,72°, hinter 5,6 mm starke Mahagoniholz eine solche von 6,30°, hiermit war in beiden Fällen der stationäre Zustand erreicht. (Allerdings scheint der Einfluss des Leitungsvermögens ein sekundärer, durch die Versuchsbedingungen begünstigter gewesen zu sein, insofern die zwischengeschaltete Platte die Wärmequelle und die Thermosäule an Grösse um ein vielfaches übertraf.) Die einfache Verbindung eines Metalles mit einem Nichtleiter — oder mit einem Körper von hohem Strahlungs- bez. Absorptionsvermögen — setzt seine Isolationsfähigkeit herab; schon eine geringe Fettschicht übt diese Wirkung aus. Hingegen erhält man einen vorzüglichen Schutz gegen dunkle Wärmestrahlen durch Combination blanker Metallbleche mit einer schlecht leitenden Zwischenschicht von Holz oder besser von cirkulierendem Wasser oder Luft. Gegen leuchtende Wärmestrahlen wird die Zwischenschaltung einer Alaunzelle und einer Schicht fliessenden Wassers empfohlen. *E—n.*

Reinigung von Quecksilber. Von C. Bohn (*Ztschr. f. Instrumentenk. 1887, S. 389*) wird folgende Einrichtung als einfach und billig empfohlen. Man lässt sich ein eisernes Gasleitungsrohr von 1,7 m Länge so umbiegen, dass zwei parallele Schenkel von etwa 0,9 und 0,78 m Länge entstehen; dies Rohr wird erwärmt und durch Hindurchblasen trockener Luft von Feuchtigkeit befreit, dann mit Quecksilber völlig gefüllt und mit den Enden in zwei Gefässe (1/4 Liter-Gläser) mit Quecksilber getaucht; in dem oberen Teil des U-Rohres entsteht eine ziemlich gute Luftleere, namentlich, wenn man zuvor das Quecksilber durch einen blanken Eisendraht von Luftblasen befreit hat. Das verwendete Quecksilber muss durch Filtrieren von Staub und durch Stehenlassen bei 120—140° von Feuchtigkeit, Fett u. s. w. gereinigt sein. Das Gefäss (A), in welches das kürzere Rohr taucht, wird von Anfang an mit möglichst reinem Quecksilber gefüllt, und gegen den längeren Schenkel eine Bunsenflamme, etwa 7 cm unter der ungefähren Oberfläche des Quecksilbers, gerichtet; dieses destilliert über und vermehrt den Inhalt des Gefässes A, der solange in das Gefäss (B) zu nochmaliger Destillation zurückgefüllt wird, bis etwa die 6—10fache Menge von der anfänglich im kürzeren Schenkel enthaltenen überdestilliert ist; von da ab kann man das in A sich sammelnde Quecksilber als ganz rein ansehen. Der Verfasser hat den Apparat bei passender Regulierung der Flamme oft 15 Stunden lang sich selbst überlassen.

Um Quecksilber von mechanischen Verunreinigungen zu trennen, benutzt der Verfasser das aus Bunsen's Laboratorium bekannte Verfahren: Ein aus Schreibpapier gebildetes Filter wird mit feinen Löchern versehen, am besten mit dreieckigen Öffnungen, wie sie die Spitze eines Federmessers erzeugt, und zwar sowohl von aussen nach innen, als umgekehrt, und sowohl parallel wie senkrecht zur Faltung des Papiers; das Filtrieren kann überdies durch Verbindung mit einer Luftverdünnungsvorrichtung beschleunigt werden. Noch bequemer findet es der Verfasser, ein etwa 1 m langes Glasrohr von Bleistiftdicke zu nehmen, welches an dem einen Ende mit einem Trichter, an dem andern mit einem verdickten Rande oder mit einem wellig zusammengestauchten Rohrstück versehen ist; dieses Ende wird mit einem Stück Leinwand oder sämisch Leder fest überbunden, das Ganze darauf senkrecht gestellt und mit Quecksilber gefüllt, welches sich mit mehr als Atmosphärendruck durch die Poren hindurchpresst. — Als Untergestelle beim Arbeiten mit Quecksilber bedient sich der Verfasser mit Vorteil rechteckiger Bratpfannen aus Eisenschwarzblech mit hohem Rande und Ausgussdille.



Neu erschienene Bücher und Schriften.

Die Lehre von der Energie, historisch-kritisch entwickelt, nebst Beiträgen zu einer allgemeinen Energetik. Von Dr. Georg Helm, Leipzig 1887 bei A. Felix, 104 Seiten. M. 3,00.

Der Verfasser findet die Quellen der Energie-Ideen in der theoretischen Mechanik, der Physik, der Philosophie, der Technik und selbst der Volkswirtschaft. Der zweite Teil behandelt die Begründung des Energiegesetzes durch Mayer, Joule, Helmholtz, sowie die weitere Ausbildung der Energie-Ideen durch Clausius, Thomson, Rankine. „Unter den Männern, in denen die neuen Gedanken sich zum Gesetze befestigten, ist zweifellos Robert Mayer der erste, der sie litterarisch vertreten hat. Auch die späteren Schriften dieses weitblickenden Forschers beweisen, wie er sich der Tragweite der neuen Erkenntnis für das ganze Gebiet der Natur vollbewusst war.“ Bei den Joule'schen Versuchen wird hervorgehoben, dass sie allein das Energiegesetz nicht beweisen können, sondern nur den Wert bestätigender Experimente haben. Alle deduktiven Ableitungen des Gesetzes werden als „Beweise“ vom Verfasser verworfen, besonders wird diejenige aus der mechanischen Naturanschauung ein Scheinbeweis genannt, weil „die mechanischen Hypothesen von vornherein so eingerichtet werden, dass das Energiegesetz gilt“. Den dritten Teil der Schrift (Beiträge zu einer allgemeinen Energetik) hält Referent für ganz besonders beachtenswert. Der Verfasser gelangt hier zur Aufstellung von zwei Gesetzen, die für jede Energieform gelten und die man die Verallgemeinerungen des zweiten thermodynamischen Hauptsatzes und des Entropie-Gesetzes nennen könnte. Dieselben lauten: 1) Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen von niederer Intensität überzugehen. 2) Bei diesem Übergang wird soviel Energie anderer Form erzeugt, beim umgekehrten Übergang verbraucht, dass die ‚Quantitätsfunktion‘ der übergegangenen Energieform ihren Gesamtbetrag nicht ändert. Wenn die hierin enthaltenen Gesichtspunkte auch nicht absolut neu sind (vergl. Mach, Gesch. u. Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit S. 54), so sind sie doch bisher nicht mit so „prinzipieller Entschiedenheit an den Tag getreten“. Ausserdem bietet die Schrift noch so viele zum Teil weit ausgreifende Gedanken, dass ihr eine für die Energetik ganz hervorragende und prinzipielle Bedeutung zuerkannt werden muss. *R. Wronsky.*

Das Prinzip der Erhaltung der Energie von Max Planck, Leipzig, Teubner 1887. XII u. 247 S. M. 6,00.

Diese mit dem zweiten Preise der Beneke-Stiftung gekrönte Schrift behandelt das Thema nach derselben Disposition, wie die vorige, verlässt aber bei Aufsuchung der Energiequellen, nach ausgesprochener Absicht, nur selten das physikalische Gebiet, geht auch im allgemeinen über das Jahr 1860 nicht hinaus. Die Abwägung der einzelnen bei der Begründung des Prinzips beteiligten Forscher, weicht von der Helm'schen kaum ab. Der zweite Teil bringt ausser einigen neuen Wendungen des Gesetzes auch ein auf alle Energieformen bezügliches Prinzip, das der Übereinanderlagerung (Superposition) der Energieen. „Die Energie eines materiellen Systems ist die Summe der einzelnen in dem System vorhandenen von einander unabhängigen Energiearten, und jede äussere Wirkung verändert nur gerade die Energieart, die ihr gerade entspricht. Über dies Prinzip kommen wir deshalb nie hinweg, wir mögen es ausdrücklich betonen oder stillschweigend benutzen, dasselbe liegt im Trägheitsgesetz ebenso gut enthalten, wie im Satz vom Parallelogramm der Kräfte und dem der Wirkung und Gegenwirkung.“ Der hierin liegende Gesichtspunkt ist in der That geeignet, durch Zerfällung der Gleichung der Gesamtenergie in Teilgleichungen die Lösung vieler Probleme herbeizuführen, wie vom Verfasser auf den Gebieten der mechanischen, thermischen und chemischen, elektrischen und magnetischen Energie ausführlich gezeigt wird. Auch dieses Buch wird der Leser nicht aus der Hand legen, ohne Anregung und Belehrung empfangen zu haben. *R. Wronsky.*

Elementare Vorlesungen über Elektricität und Magnetismus von Silvanus P. Thompson, Prof. der Physik am Technical College zu London. Autorisierte deutsche Übersetzung auf Grund der neuesten (28.) Auflage des Originals von Dr. A. Himstedt. Tübingen, H. Laupp, 1887. XI. und 487 S. M. 6,00.

Das kleine Werk gehört zu der besonderen Art von Büchern, die beim ersten Blick für sich einnehmen und dann das Interesse in immer steigendem Maasse fesseln; es muss allen, denen an einer klareren Erfassung und Darstellung des hier behandelten Gebietes gelegen ist, aufs angelegentlichste empfohlen werden, und dies um so mehr, als hier zum ersten Male die Faraday-Maxwell'schen Vorstellungen, namentlich die Kraftlinien, in den Elementarunterricht Einführung finden. In den drei ersten Kapiteln sind die wichtigsten experimentellen Thatsachen behandelt, in den folgenden die Theorie der Elektrostatik und des Elektromagnetismus, die elektrischen Messungen, die Erzeugung von Wärme, Licht und Arbeit, die Thermo-Elektricität, die Elektro-Optik, die Induktionsströme, die Elektro-Chemie, die Telegraphen und Telephone. Am Ende des Buches findet sich eine grössere Zahl (162) von lehrreichen Übungsbeispielen und Aufgaben. Die Begriffe ‚Potential' und ‚Capacität' werden schon im experimentellen Teil durch die hydrostatische Analogie verdeutlicht; wenn aber dann beim Volta'schen Fundamentalversuch gesagt wird „das Potential der Ladung steigt, wie die Divergenz der Goldblätter anzeigt", so ist die Gewalt der Thatsachen stärker als die vorher gegebene Definition. Dass später im theoretischen Kapitel über Elektrostatik der Arbeitsbegriff des Potentials auseinandergesetzt wird, ist selbstverständlich. Den Gebrauch des Wortes Spannung verwirft der Verfasser in jeder anderen Bedeutung als in derjenigen von ‚dielektrischer Spannung'. Für die Erklärung der Contaktelektricität wird die chemische Theorie zu Grunde gelegt. In besonnenster Weise spricht sich der Verfasser darüber aus, dass man den Strom selbst nicht durch den Schliessungsdraht fliessen sehen kann, sondern die Wirkungen des Stroms in Betracht ziehen muss; dennoch wird gleich darauf erklärt, die Menge des im Element verbrauchten Zinks sei der Elektricitätsmenge proportional, die durch den Schliessungsbogen fliesst. Solche Einzelheiten zeigen, dass es selbst einem Autor von so musterhafter Klarheit nicht immer gelingt, dem Prinzip der unbedingten Thatsächlichkeit in der Darstellung der Vorgänge treu zu bleiben. Wenn aus dem reichen Inhalt noch etwas als besonders beachtenswert hervorgehoben werden soll, so sind es die Abschnitte vom magnetischen Potential und vom Elektromagnetismus, zumal diese durch die Aufstellung der absoluten elektrischen Maasseinheiten erhöhte Bedeutung gewonnen haben. Es sei auch erwähnt, dass der Satz von der „Erhaltung der Elektricität" den Sätzen von der Erhaltung der Materie und der Energie als gleichwertig an die Seite gestellt wird. — Der Übersetzer hat sich dadurch, dass er das Werk dem deutschen Publikum nahe gebracht hat, ein dankenswertes Verdienst erworben. *P.*

Anfangsgründe der Physik für den Unterricht in den oberen Klassen der Gymnasien und Realschulen sowie zur Selbstbelehrung, von Professor Karl Koppe. 17. veränderte Auflage, bearbeitet von Dr. H. Koppe. Mit 359 Holzschnitten. Essen, G. D. Bädeker 1888. VIII und 458 S.

Das weitverbreitete Lehrbuch hat in der neuen Auflage eine Reihe von Verbesserungen erfahren, welche durchweg eine Tendenz zu grösserer Exaktheit erkennen lassen. Bemerkenswert ist namentlich die schärfere Darstellung der Lehre von den bewegenden Kräften und die eingehendere Behandlung der mit dem Ohm'schen Gesetz zusammenhängenden Begriffe. Durch diese und ähnliche Änderungen bewahrt sich das Buch, das in diesem Jahr das vierte Dezennium seines Bestehens vollendet, seine achtbare Stellung unter jener älteren Gattung von Lehrbüchern, welche das Wesen ihrer Aufgabe in der verständigen und übersichtlichen Zusammenstellung des Lehrstoffes erblicken. Als der Besserung noch besonders bedürftig sei schliesslich der § über die Volta'sche Säule genannt. *P.*



Versammlungen und Vereine.

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 23. Dezember 1887 (Nachtrag). Die Untersuchungen, über welche Herr Schwalbe berichtete, rühren von SPRING und VAN AUBEL her. In derselben Sitzung machte Herr H. W. Vogel Mitteilungen über die Sonnenfinsternis am 19. August 1887 und legte Momentaufnahmen der Totalität vor, welche in Porganetz an der Wolga und im Ural bei $^1/_{50}''$ Expositionsdauer erhalten worden sind. Derselbe zeigte eine Photographie des Sauerstoffspectrums, von Rot bis Ultraviolett reichend, die er mit Azalin-Platten angefertigt hat, durch (zehnfache) Vergrösserung wurden Bilder von 80 cm Länge hergestellt, die als Wandtafeln zum Vergleich der Linien mit denen des Sonnenspectrums dienen können.

Sitzung am 6. Januar 1888. Herr A. v. Oettingen aus Dorpat sprach über Wasserstoffknallgasexplosionen. BUNSEN hatte auf Grund seiner Versuche die Ansicht aufgestellt, dass die Explosion des genannten Gemenges keine einmalige Verbrennung, sondern eine Folge von einzelnen Verbrennungen sei, zwischen denen ein Teil des gebildeten Wassers durch die hohe Temperatur (3000°) wieder dissociiert wird. Dem Vortragenden ist es gelungen, die Lichterscheinung bei der Explosion unter Anwendung eines rotierenden Spiegels zu photographieren und festzustellen, dass das Bild in der That von Zickzacklinien durchsetzt war, die sich als Wirkung von Stosswellen infolge successiver Explosionen deuten liessen. Herr F. Kötter legte eine neue Theorie des Druckes vor, den eine Mauer von seiten des Erdreiches, das von ihr gestützt werden soll, erleidet.

Sitzung am 20. Januar 1888. Herr A. v. Oettingen über Interferenz elektrischer Oscillationen. Der Vortragende hat oscillatorische Entladungen zweier Leydener Flaschen von verschiedener Schwingungsdauer und Amplitude in einer dritten Funkenbahn zur Interferenz gebracht und eine regelmässige Folge von vermehrten und verminderten Intensitäten beobachtet; er bediente sich zur Analyse der Erscheinnng eines rotierenden Planspiegels und fixierte die Vorgänge durch Momentphotographie. Herr R. Börnstein über einen Diffusionsversuch mit sogen. anorganischen Zellen nach M. TRAUBE. Herr E. Budde teilte Rechnungen über einen etwaigen Einfluss der Erdrotation auf das CLAUSIUS'sche elektrodynamische Gesetz mit, deren Ergebnis negativ war.

Sitzung am 3. Februar 1888. Herr P. du Bois-Reymond über die Unbegreiflichkeit der Fernkraft. An einem Beispiel wurde der Ätherstosstheorie ein Widerspruch nachgewiesen. Herr H. v. Helmholtz bemerkte, dass wenn das Ziel des Begreifens im Begriffbilden liege, man von Unbegreiflichkeit der Fernkraft überhaupt nicht sprechen könne. Die Schwerkraft sei begriffen, sobald im Begriff der Fallbeschleunigung eine Zusammenfassung der Thatsachen vollzogen sei. Derselbe berichtete darauf über die Herstellung dünner Metallprismen durch KUNDT und den Nachweis der zeitlichen Dauer der elektrischen Fernwirkung durch H. HERTZ.

Sitzung am 17. Februar 1888. Herr E. Lampe berichtete über MAC GREGOR's *Elementary Treatise on Kinematics and Dynamics* und hob den Wert dieses Werkes für den physikalischen Unterricht hervor. Herr Börnstein demonstrierte einen neuen Apparat zur automatischen Aufzeichnung des Stromstärkeintegrals. Herr Gerstmann referierte über VAN AUBEL, *Recherches expérimentales de l'influence du magnétisme sur la polarisation dans les diélectriques.* Herr F. Kötter sprach über die Erscheinung, dass bei einem mit Bayonnet versehenen Gewehr die Kugel nach links abweiche, fand den Grund hierfür in einer veränderten Lage des Schwerpunktes und zeigte, dass das Problem sich durch Anwendung des Satzes von der Erhaltung des Schwerpunktes und des Flächensatzes, ohne Kenntnis der näheren Vorgänge bei der Explosion, behandeln lässt.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 31. Januar 1888. Herr P. Szymanski sprach über die Einheiten des absoluten Maasssystems, deren experimentelle Veranschaulichung, die Notwendigkeit ihrer Einführung in den Elementarunterricht und die Möglichkeit, besonders geeignete Übungsaufgaben an sie anzuknüpfen. Derselbe legte darauf mehrere einfache Demonstrationsapparate vor.

Sitzung am 13. Februar 1888. Herr R. Heyden führte eine Reihe von Versuchen zur Elektricitätslehre vor, namentlich neue Verwendungen des elektrischen Glockenspiels, der Fallröhre, des Faraday'schen Würfels und Versuche über die Büschel-Entladungen bei der Holtz'schen Maschine.

Sitzung am 27. Februar 1888. Im Anschlusse an eine zur Diskussion gestellte Frage über den Papierdrachen setzte Herr Gerlach dessen Theorie auseinander, ging namentlich auf die Bestimmung der maximalen Steighöhe und die das Resultat beeinflussenden Nebenumstände ein und machte Angaben über die Verwendung des Papierdrachens zu wissenschaftlichen Zwecken. Von Herrn P. Szymanski wurde eine eigentümliche Beobachtung am Hohlspiegel mitgeteilt.

Mitteilungen aus Werkstätten.

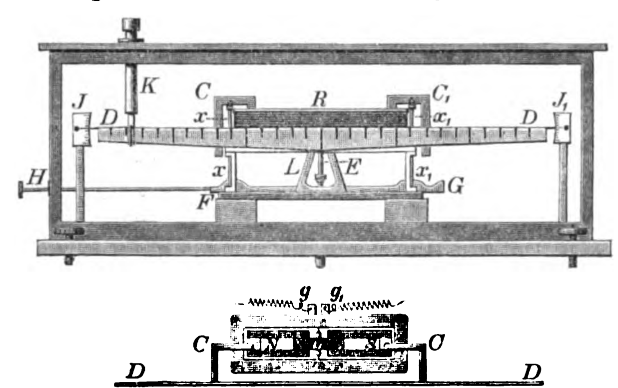
Wagegalvanometer nach Friedrich C. G. Müller

von G. Wanke in Osnabrück.

Das nachstehend beschriebene Instrument gestattet, das von dem galvanischen Strom auf eine Magnetnadel ausgeübte Drehungsmoment in fester Nulllage durch einfache Längenmessung nach dem Prinzip der Schnellwage zu bestimmen. Das Messen in der Nulllage mittels mechanischer Kräfte macht nicht allein die verwickelte Theorie, sondern auch die vielen mit Rücksicht auf den Erdmagnetismus erforderlichen Justierungen der Ablenkungs-Instrumente überflüssig. Allerdings hat der Experimentator beim Messen mit zu arbeiten, dafür aber auch den Vorteil, mittels zweckmässiger Rheostaten den Strom auf irgend eine vorher bestimmte Stärke in wenigen Sekunden bequem einstellen zu können.

Das Wagegalvanometer soll in erster Linie ein Unterrichtsapparat sein, dessen Angaben bis auf 8 Meter von normalen Augen wahrzunehmen sind, dessen Theorie, Construktion und Wirkungsweise klar und einfach vor dem Beschauer liegen, welches jederzeit unmittelbar zum Gebrauche fertig ist und für die einzelne Beobachtung nur wenige Sekunden Zeit beansprucht, welches Dank seiner soliden Construktion durch Erschütterungen und ungeschickte Behandlung nicht verdorben wird, welches endlich zu galvanometrischen Versuchen jeder Art brauchbar ist, sei es zum direkten Messen der stärksten Ströme, sei es zum Messen der Thermoströme, welche eine Kerze aus 1 m Entfernung in einer Thermosäule hervorruft.

Die Figur zeigt den ganzen Apparat in Vorderansicht, seine Hauptteile in Oberansicht. Der Magnet ruht in horizontaler Stellung auf einer Messerschneide, dicht umschlossen von dem Multiplikatorrahmen *R*. Um Platz für die Schneide zu gewinnen, wurde der Magnet in der Weise zusammengesetzt, wie es die Oberansicht zeigt. Je zwei Magnetstäbe *N* und *S*, 20 mm breit, 8 mm dick, 90 mm lang, sind durch das Mittelstück *M* aus weichem Eisen verbunden. Durch letzteres geht die Messerschneide, welche auf ebenen Karneolplättchen spielt, die ihrerseits in die Backen des Lagers *L* eingesetzt sind. Zwischen den äusseren Enden der Magnetstäbe sind Messingstücke eingesetzt, welche in die mehrfach rechtwinkelig gebogenen Träger *C* auslaufen. Die Träger *C* halten das 600 mm lange Aluminiumlineal *DD*. So bildet der innerhalb des Multiplikators liegende starke Magnet mit dem frei vor dem Beschauer liegenden Lineal ein solides Ganze, welches wir als den magnetischen Wagebalken bezeichnen wollen. Derselbe ist, wie jeder feine Wagebalken, mit Schrauben zur Regulierung des Gleichgewichts versehen, sowie mit einer solchen, bei *E* sichtbaren, zur Regulierung der Empfindlichkeit.



Beim Nichtgebrauche ruht der magnetische Wagebalken auf einer genau justierbaren Arretiervorrichtung, aus der verschiebbaren Schiene *FG* und den Prismen *xx*, $x_1\,x_1$ gebildet, durch welche der Balken nicht allein parallel gehoben und gesenkt, sondern auch genau auf den nämlichen Fleck gesetzt wird.

Die Oberkante des Lineals *DD* liegt genau in der Höhe der Drehungsaxe und läuft an den Enden in geschwärzte Spitzen aus, welche vor den Skalen *J* und J_1 spielen. Die Vorderfläche des Lineals hat für Demonstrationszwecke eine grobe, mit schwarzer Ölfarbe aufgetragene Teilung von 20 zu 20 mm, daneben besteht eine feinere mit der Teilmaschine hergestellte. Auf dem Lineal können Reiter verschoben werden, deren geschwärzte Schenkel vor dem weissen Metall noch auf 8 m sichtbar sind. Die Verschiebung geschieht mittels der einfachen in einem schmalen Schlitz des Gehäusedeckels gleitenden Vorrichtung *K*. Wenn man Reiter auswechseln will, wird *K* in seiner Hülse in die Höhe gezogen. Ausserdem gehört noch eine Gabel mit zwei zu Haken gebogenen Zinken zum Apparat, mit deren Hilfe der Experimentator durch den genannten Schlitz hindurch freihändig Reiter aufsetzen und verschieben kann. Um die ganze Länge des Lineals auszunutzen, wägt man nicht von der Mitte aus, sondern von den Enden, d. h. man setzt an

jedes Ende einen von zwei gleichen Reitern. Tritt dann in Folge eines galvanischen Stroms Drehung ein, so wird der sinkende Reiter nach dem andern Ende zu verschoben, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Es sei noch bemerkt, dass die Gestalt der Schiene *FG* eine einseitige Arretierung der rechten Seite des Balkens gestattet. Man benutzt diese Einrichtung beim Messen kurz andauernder Ströme, z. B. bei Polarisationsströmen, indem man einen Reiter vor dem Schliessen der Kette auf die rechte Seite schiebt und beobachtet, bei welcher Grenze der Strom ihn nicht mehr zu heben vermag.

Die Empfindlichkeit des magnetischen Wagebalkens lässt sich eventuell bis zur Astasie steigern, für den praktischen Gebrauch wird sie nur soweit gebracht, dass ein Centigrammreiter bei 30 mm Verschiebung etwa 2 mm Ausschlag an den Skalen giebt. Auch diese Empfindlichkeit ist nur für wenige Versuche erforderlich, weshalb für gewöhnlich auf die Schraube *E* eine Art Pinzette von 3 g Gewicht geklemmt wird. Als Dämpfer fungiert ganz vozüglich ein mittels eines feinen Haars am Ende des Lineals in horizontaler Lage aufgehängtes Metallscheibchen, welches in ein Gefäss mit Glycerin taucht. Bei feinen wissenschaftlichen Versuchen wird zur Verminderung der Capillarität etwas Benzin auf das Glycerin gegossen.

Es erübrigt noch die Beschreibung des Multiplicators. Der innere Teil des Rahmens besteht aus einem den Magneten eng umschliessenden Rechteck, welches aus einem 30 mm breiten 2 mm dicken Kupferstreifen gebogen ist. Die Enden des letzteren sind durch eine schmale Lücke getrennt und mit den Zuleitern g und g_1 verbunden. Den so gebildeten einfachen Leiter mit verschwindendem Widerstande verwendet man, wenn es sich um starke Ströme handelt. Um diesen Rahmen liegen zwischen zwei Flantschen von Buchsbaumholz 200 Windungen eines 2 mm starken, übersponnenen Kupferdrahts, zu welchem zwei besondere Klemmen führen. Das Drehungsmoment, welches dieser Multiplikator auf den Magneten ausübt, ist etwa 100 mal grösser, als dasjenige des Rahmens.

Das ganze Instrument befindet sich in einem auf Stellschrauben ruhenden Gehäuse, dessen Wände ringsum aus Glasscheiben bestehen. Die vordere Scheibe ist in der Mitte geteilt und es lassen sich beide Hälften leicht nach rechts und links herausziehen. Der Deckel des Gehäuses kann an zwei Knöpfen abgehoben werden. Somit ist das Instrument leicht zugänglich; namentlich kann der ganze magnetische Wagebalken jederzeit binnen wenigen Sekunden herausgenommen und vorgezeigt werden.

Das richtig ausbalancirte horizontal aufgestellte Instrument zeigt nach Lösung der Arretierung genau auf Null; sollte eine geringe Abweichung eintreten, so wird sie durch Verschiebung einer der beiden Reiter beseitigt. Sobald dann der zu messende Strom den Balken dreht, wird der Zeiger durch Verschiebung des betreffenden Reiters wieder auf Null gebracht, wozu kaum 10 Sekunden Zeit beansprucht werden. Das Drehungsmoment des Stromes ist jetzt demjenigen des Reiters gleich, mithin wird die Stromstärke direkt durch die Strecke gemessen, um welche der Reiter verschoben ist. Dies ist die ganze Theorie der Messung.

Das Gewicht der Reiter wird so bestimmt, dass ein Skalenteil am Lineal eine gebräuchliche Stromeinheit oder deren decimale Ober- oder Unterabteilung repräsentiert. Reiter, welche an der groben Skale bei Anwendung des Kupferrahmens Knallgaseinheiten (1=0,095 Ampère) zeigen, haben etwa 0,1 g Gewicht. Diese leichten Reiter stelle ich aus schwarz lackirten, oben durch einen dünnen Draht verbundenen Stäbchen spanischen Rohres her. Man kann sie aus 8 m Entfernung noch gut sehen und somit noch $^1/_{10}$ Einheit ablesen. Dicht vor dem Instrument misst man auf $^1/_{50}$ genau. Bei Anwendung des Multiplikators repräsentieren die nämlichen Reiter genau $^1/_{100}$ Einheit, so dass man aus der Ferne noch $^1/_{1000}$, in der Nähe $^1/_{5000}$ ablesen kann. Ausser einer Anzahl solcher Reiter braucht man noch Messingreiter von 10- und 100-fachem Gewicht. Ich bemerke, dass die angegebene Empfindlichkeit sich nur auf die oben angenommene Justierung bezieht, dass dieselbe aber, wenn es sein muss, leicht verzehnfacht werden kann. Bei Versuchen mit der Thermosäule misst man bei geringerer Empfindlichkeit am besten aus dem Ausschlage. Dabei wirft man mittels einer Petroleumflamme und zweier passenden Sammellinsen das Bild der Zeigerspitze an die Wand oder auf einen Schirm, ein Arrangement, welches weder Eingriffe in die Funktion des Galvanometers, noch eine starke Verdunkelung des Zimmers erfordert.

Das Instrument wird in verschiedenen Ausführungen hergestellt. Wird das Aluminiumlineal durch ein solches aus Messing ersetzt und die Schneide auf einer Stahlfläche oder in keilförmiger Pfanne mit Gegenplättchen spielend angebracht, so vermindert sich der Preis, ohne dass die Brauchbarkeit in Frage gestellt wird.



Preisverzeichnisse.

Verzeichnis über wissenschaftliche Instrumente, insbesondere für elektrische und magnetische Messungen, von Hartmann u. Braun in Bockenheim-Frankfurt a. M. (Skalenfernrohre, Skalen, Galvanometer, Federgalvanometer nach Kohlrausch [Amperemeter], Messbrücken, magnetische und optische Messinstrumente).

Preisverzeichnis über physikalische Apparate von Keiser u. Schmidt, Berlin N., Johannisstr. 20. (Funken-Inductoren, Geissler'sche Röhren, dynamoelektrische Maschinen, galvanische Messapparate).

Verzeichnis und Beschreibung neuerer Apparate von E. Leybold's Nachfolger in Köln. (Vertikal-Galvanometer nach Werners, Audiometer, Induktionswage, Fonvielle's Gyroskop, Mikro-Tasimeter, Linnemann's Leuchtgas-Sauerstofflampe).

Preisverzeichnis über chemische Apparate und Gerätschaften von Dr. Robert Muencke, Berlin NW., Luisenstr. 58 (enth. u. a. Aspiratoren, Gasometer, Gebläse und Lampen, Quecksilber- und Wasserstrahl-Luftpumpen).

Preisverzeichnis der optischen und mechanischen Werkstatt von Franz Schmidt u. Haensch, Berlin S., Stallschreiberstr. No. 4. (Polarisations-Apparate, Mikroskope, Spectral-Apparate).

Optische Bank zur objectiven Darstellung der Polarisationserscheinungen und der Spectral-Analyse nach Prof. Paalzow, von denselben.

Sammlung von Apparaten zum experimentellen Studium der Physik mit anleitender Druckschrift. Von Meiser u. Mertig, Dresden N. III. Teil: Akustik (120 experimentelle Übungsaufgaben).

Correspondenz.

W. R. — Unter den zahlreichen Wellen-Apparaten dürfte Mach's phoronomische Wellenmaschine (beschr. in *Carl's Rep. VI, 8, Pfaundler's Lehrb. (9) I* u. a.) den Vorzug verdienen, da sie bei einfacher und leicht zu übersehender Construktion sowohl Transversal- als Longitudinalwellen, und in beiden Fällen sowohl fortschreitende wie stehende, zu demonstrieren ermöglicht nud noch eine Reihe weiterer Schwingungsversuche gestattet.

J. H. — Wir haben nicht in Erfahrung bringen können, ob der Siemens'sche Regenerativbrenner schon für das Skioptikon Verwendung gefunden hat. Von fachmännischer Seite wird eine solche Verwendung für nicht empfehlenswert erklärt, weil die hohe Temperatur schädlich auf den Apparat wirken und besondere Schutzvorrichtungen nötig machen würde. Doch ist an zwei Berliner Gymnasien eine Gebläselampe für Kalklicht in Gebrauch, die von der Firma Dr. Robert Muencke in Berlin geliefert ist, und bei welcher sowohl das Gas als auch die zugeführte Luft vor der Verbrennung stark erhitzt werden; dies wird dadurch erreicht, dass das Luftzuleitungsrohr um das Gaszuleitungsrohr in spiraligen Windungen herumgeführt ist und beide zugleich in horizontaler Lage über einem Flachbrenner montiert sind. Die Luft wird in comprimiertem Zustande (wie bei der gewöhnlichen Gebläseflamme) angewendet. Die Kalkscheibe ist in eine Messingkapsel gefasst, die auch während des Brennens vertikal wie horizontal verschoben werden kann und deren Vorderseite von der Spitze der langgezogenen, schräg abwärts gerichteten Gebläseflamme getroffen wird. Diese Lampen sind in erster Reihe als Ersatz der unbequemeren Hydrooxygengaslampen gedacht, daher namentlich für optische Versuche mit Erfolg verwendbar. — Die Herren Schmidt und Haensch in Berlin sprechen sich ebenfalls dahin aus, dass der Siemens'sche Regenerativbrenner sich für Projektionszwecke nicht als zweckmässig erweisen würde, da wohl eine genügende Leuchtkraft vorhanden, diese aber auf eine zu grosse Fläche verteilt sei. Ausser dem elektrischen Licht sei daher nur noch Kalk- resp. Zirkonlicht in Betracht zu ziehen.

L. L., *Baden*. — Ihre kleine Mitteilung wird demnächst zum Abdruck gelangen. Wir bitten um genaue Adresse, da ein Brief als unbestellbar zurückgekommen ist.

Berichtigung: In Heft III, S. 129 Z. 14 ist *„Crelle's Journal Bd. 80 (1875)“* zu lesen.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Otto Lange in Berlin C.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

I. Jahrgang. Juni 1888. Fünftes Heft.

Beiträge zur geometrischen Optik.

Von
Professor Dr. **K. Schellbach** in Berlin.

Die Behandlungsweise der geometrischen Optik in unseren physikalischen Lehrbüchern ist noch immer mangelhaft. Noch immer erscheint z. B. statt des Bildes der Münze in der bekannten Kaffeetasse ein Phantom. Der Hauptfehler der Lehrbücher ist, dass sie einen Lichtstrahl nicht als einen unendlich dünnen Lichtkegel, sondern als eine gerade Linie darstellen und den Ort des Auges unberücksichtigt lassen. Durch den Herausgeber dieser Zeitschrift angeregt, beabsichtige ich, an einigen Beispielen zu zeigen, wie ich seit einer langen Reihe von Jahren diesen Teil der Optik behandele.

I. Die Reflexion des Lichtes.

§ 1.

Die geometrische Optik legt die Newton'sche Hypothese zu Grunde, die wir als bekannt voraussetzen. Die Fig. 1 soll zunächst andeuten, wie der Lichtkegel ACC' des leuchtenden Punktes A von dem Spiegel SS' nach dem Auge PP' reflektiert wird. Auf das Auge PP' wird auf die bekannte Weise die Wirkung hervorgebracht, als ob von A' aus der Lichtkegel $A'PP'$ einwirkte. Ebenso wirkt der leuchtende Punkt B auf PP'. Die Figur stellt ganz deutlich dar, wie der Gegenstand AB dem Auge PP' als ein Bild $A'B'$ erscheint, welches ebenso weit hinter dem Spiegel liegt, als der Gegenstand vor dem Spiegel.

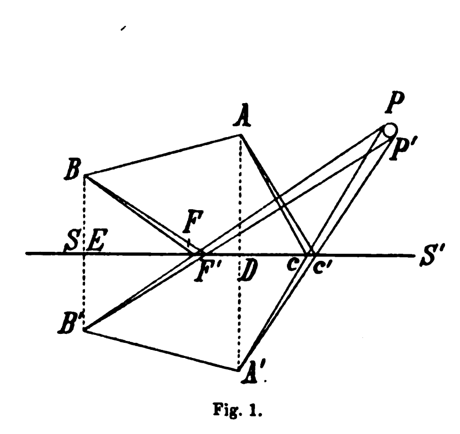


Fig. 1.

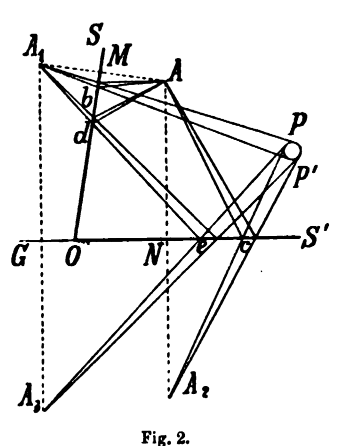


Fig. 2.

Wenn ein leuchtender Punkt A seine Strahlen auf zwei unter einem Winkel SOS' (Fig. 2) gegen einander geneigte Spiegel aussendet, so construiert man zunächst auf die bekannte Weise sein Bild A_1 in dem Spiegel OS, und sein Bild A_2 in dem Spiegel OS' für das Auge PP'. Ausserdem verlängert man das Lot

A_1G auf den Spiegel OS' um sich selbst bis GA_3, zieht A_3eP und A_1de. Auf diese Weise überzeugt man sich, dass die Strahlenkegel Ad, de, eP ins Auge gelangen und ebenso wirken, wie der Strahlenkegel A_3eP, dass das Auge PP' also die drei Bilder A_1, A_2, A_3 des Punktes A erblicken wird.

§ 2.

Der sphärische Hohlspiegel.

Der Radius des spiegelnden Kreises (Fig. 3) sei $= 1$. Der von A ausgehende Lichtstrahl $AB = a$ werde durch das vom Mittelpunkte gefällte Lot ME in zwei gleiche Strecken $BE = ED = c$ geteilt. Dann ist der reflektierte Strahl $BC = BD = 2c$. Ist nun $D'AB'$ ein Nachbarstrahl und $B'C'$ der reflektierte, so ist F die Spitze des reflektierten Strahlenkegels FBB', wenn ABB' der einfallende ist. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ADD' und ABB' folgt

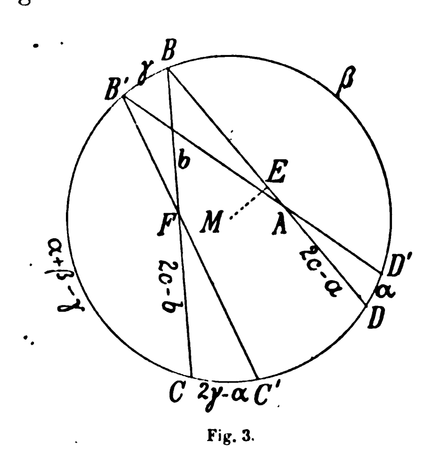


Fig. 3.

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{2c - a}{a} = \frac{2c}{a} - 1$$

und aus der Ähnlichkeit von FBB' und FCC', wenn $FB = b$,

$$\frac{2\gamma - \alpha}{\gamma} = \frac{2c - b}{b} \text{ oder } 3 - \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{2c}{b}.$$

Die Summe dieser beiden Gleichungen giebt die Formel

$$1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{c},$$

Wenn man hiernach die Strecke $BF = b$ auf BA bis zu einem Punkte F' abträgt, so erhält man vier harmonische Punkte A, E, F', B, kann also die Spitze F des reflektierten Strahlenkegels mit dem blossen Lineale finden.

Würde sich ein beobachtendes Auge zwischen den Schenkeln des Winkels CFC' in der deutlichen Schweite, etwa 24 Centimeter weit von dem Punkte F entfernt befinden, so würde es hier ein deutliches Bild von dem leuchtenden Punkte A erblicken.

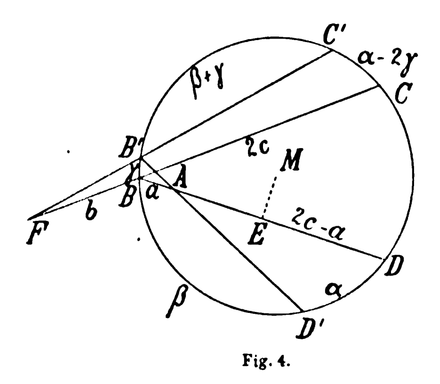


Fig. 4.

Wenn der von A ausgehende Lichtkegel durch M geht, so gelten dieselben Schlüsse und die Formel (1) verwandelt sich in die bekannte

$$2) \quad \ldots\ldots \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r}.$$

Liegt der leuchtende Punkt A dem Hohlspiegel näher, dann erleidet die Figur eine wesentliche Änderung, wie Fig. 4 zeigt. Man sieht, ohne weitere Erläuterung, wie der Strahlenkegel ABB' so reflektiert wird, als ob er von dem Punkte F hinter dem Hohlspiegel ausginge, oder dass ein Auge in der Gegend CC', in F das Bild des Punktes A erblickt. Ganz wie in Fig. 3 gelangt man hier zu der Formel

$$3) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{2}{c}.$$

Wirft endlich ein leuchtender Punkt A (in Fig. 5) seinen Strahlenkegel ABB' auf die spiegelnde Kugel BCD, so wird dieser als Kegel $BB'GG'$ so reflektiert, als wenn seine Strahlen aus dem innerhalb der Kugel liegenden Punkte F kämen. Mit Hülfe der Figur gelangt man hier zu der Formel

$$4) \ldots \frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{2}{c}.$$

Der Lehrer wird nun diese Formeln und Construktionen zu weiteren Erläuterungen und Versuchen mit Erfolg benutzen können, und die Wichtigkeit der Gleichung (1) sehr bald bemerken.

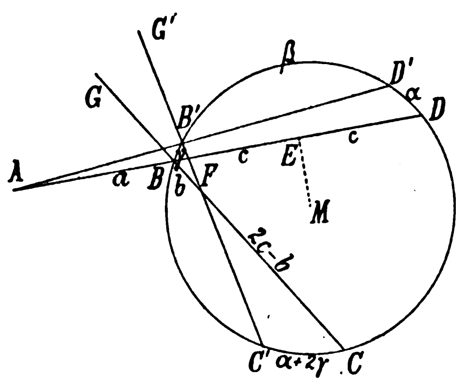


Fig. 5.

§ 3.

In Fig. 6 stelle der Halbkreis HLH' den Hohlspiegel und HNH' den Convexspiegel vor. Es sei $DBD'B'$ ein von der Sonne einfallender unendlich schmaler Strahlencylinder, der als Strahlenkegel $BB'F$ reflektiert wird. Nach § 2 ist hier $BE = ED = c$ und $a = \infty$, also BF nach Formel (1) gleich $c/2$. In dem reflektierten Strahle wird daher der Punkt F sehr hell erscheinen. Die ganze Fülle der von der Sonne einfallenden Strahlen erzeugt also auf dem Papiere eine leuchtende Linie $HFGH'$, die entweder durch Punkte oder Tangenten leicht contruiert werden kann. Um die Figur nicht mit Linien zu überladen, ist hier die letztere Construktion weggefallen, die aber jetzt fast in allen Lehrbüchern ausgeführt wird. Offenbar liegt G in der Mitte von LM.

Die Kurve HFG lässt sich aber auch auf eine andere merkwürdige Weise construieren. Man beschreibe nämlich aus M mit MG, der Hälfte des Radius ML, einen Kreis, ziehe den Radius MAB, und construiere über AB als Durchmesser einen Kreis BKA, der BE in der Mitte K schneidet, was sich daraus ergiebt, dass die Dreiecke BKA und BEM ähnlich sind. Dieser Kreis geht also auch durch F, da BF auch $= \frac{1}{2} BE$ ist. Nun ist aber der Winkel $GMA = ABK = ABF = \lambda$, also ist der Kreisbogen FA gleich dem Kreisbogen GA. Wird nun diese Construktion für alle Punkte des Quadranten LH ausgeführt, so entsteht auf diese Weise die Kurve HFG. Denkt man sich jetzt den Kreis AB bewegt, so dass sein Bogen AF auf dem ihm gleichen AG abgewickelt wird, so beschreibt der Punkt F des kleinen Kreises den Kurvenbogen FG. Wickelt sich also überhaupt auf einem festen Kreise ein halb so grosser Kreis ab, der einen festen Punkt F enthält, so beschreibt dieser Punkt die Kurve $GHG'H'G$. Diese durch Reflexion entstandenen Linien werden **katakaustische Kurven** genannt. Wenn sich aber auf einem festen Kreise ein beweglicher abrollt, so beschreibt bekanntlich ein fester Punkt in seiner Peripherie eine **Epicykloide**. Die Kurve, welche wir hier construiert haben, ist also eine besondere Art von Epicykloide. Es ist gewiss für den Unterricht nicht ohne Interesse, dass wir bei unsern optischen Untersuchungen zum Begriff

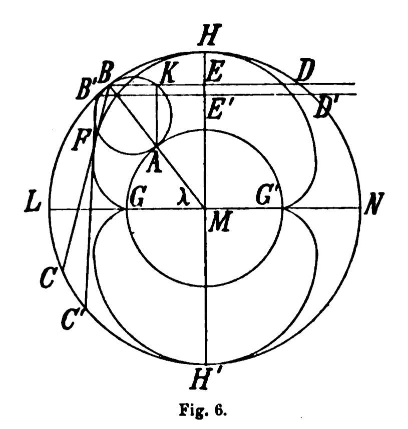


Fig. 6.

dieser Kurven gelangt sind, und zwar auf eine ungewöhnlich einfache Weise. Der Teil $HG'H'$ unserer Kurve enthält, nach Fig. 5, den Ort aller der Bilder der Gegenstände, welche sich in einer Convexkugel (Garten-Kugel) zeigen.

Es bildet aber ein Hohlspiegel noch auf eine andere Weise eine zweite Epicykloide. Wenn nämlich (Fig. 7) ein leuchtender Punkt N in der Peripherie des Spiegels liegt, so wird der Strahlenkegel NB in den Kegel BF reflektiert. Aus der Formel (1) in § 2 ergiebt sich

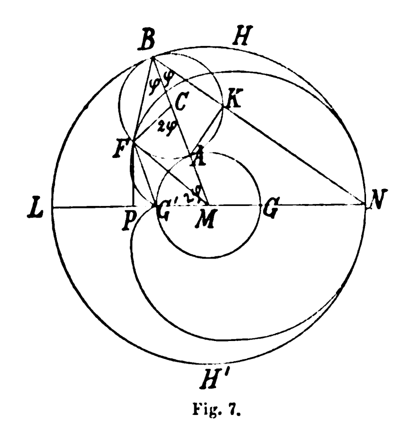


Fig. 7.

$$5) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad b = \frac{c}{2 - \frac{c}{a}}.$$

Die Sehne NB wurde mit $2c$ bezeichnet; der Strahl NB mit a und der reflektierte BF mit b. Hier ist also $a = 2c$ und $b = 2c/3$. In unserer Figur sei nun der Radius des Hohlspiegels HLH' gleich $ML = 3r$, also der Radius der beiden kleinen Kreise gleich r. Dann ist $c = 3r\cos\varphi$, also $b = 2r\cos\varphi = BF$ und der Kreisbogen AF gleich dem Bogen AG'.

Wenn sich also der bewegliche Kreis C auf dem ihm gleichen, festen M abwickelt, so beschreibt ein fester Punkt F in ihm die katakaustische Kurve $G'FNG'$, die mithin eine zweite Epicykloide darstellt.

Die Gleichung dieser Kurve ergiebt sich, wenn man die Sehne G_1F mit ρ bezeichnet, denn projiciert man die Punkte G_1 und F auf MC, so sieht man sogleich, dass $\rho = 2r(1 - \cos 2\varphi)$. Offenbar ist aber der Winkel $PG_1F = 2\varphi$. Bezeichnet man daher diesen Winkel mit θ, so ist die Polargleichung der Epicykloide

$$\rho = 2r(1 - \cos\theta).$$

Für $\theta - 0$ ist $\rho = 0$ und für $\theta = \pi$ ist $\rho = 4r$, wie es sein muss.

§ 4.

Die „darstellende Optik“[1]) giebt in mehreren Tafeln eine Vorstellung von den Formen der katakaustischen Linien, welche entstehen, wenn die Strahlen eines leuchtenden Punktes von einem Kreise reflektiert werden. Wenn z. B. (Fig. 8) der leuchtende Punkt A um $1/4$ des Radius MB von B entfernt ist, so entsteht durch die Durchschnittspunkte zweier reflektierten Nachbarstrahlen die Kurve $HGG'H'$ und JKK'. Die Gestalt dieser Linie kann schon, bei einiger Aufmerksamkeit, aus der wichtigen Formel

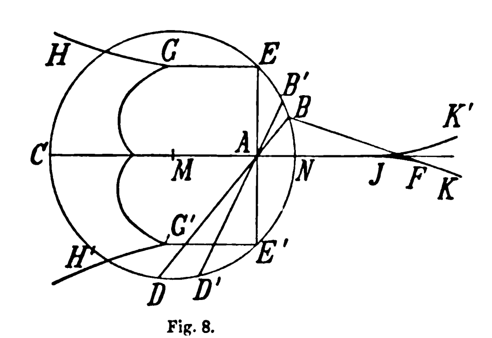


Fig. 8.

$$b = \frac{c}{2 - \frac{c}{a}}$$

abgelesen werden. Denn z. B. für den Strahl $AN = a = r/4$ ist die Sehne $NC = 2r$, also $b = r/(2-4) = -r/2 = NJ = 2AN$ für den Strahl AB ist $BD = 2c$, und wenn $AB = a = c/2$ wäre, so würde $BF = b = -\infty$ werden. Daher werden alle Strahlen, die von A auf den Kreisbogen

1) Engel und Schellbach, Darstellende Optik. Ein Atlas mit 21 Tafeln. Berlin 1856.

NB auffallen, so reflektiert, dass die Spitzen der unendlich kleinen Strahlenkegel die Kurve *JK* bilden. Die folgenden Strahlen, welche den Kreisbogen *BE* treffen, erzeugen offenbar durch Reflexion den Kurvenbogen, welcher sich aus dem Unendlichen über *H* nach *G* erstreckt. Wenn *EE'* senkrecht auf *MN* steht, so ist $AE = a = c$, daher der reflektierte Strahl $EG = b = c$. Alle die übrigen Strahlen, die von *A* auf den Bogen *EC* einfallen, bilden den Kurvenbogen *GS*. Dieser Teil der Katakaustik muss also ausserordentlich viel heller sein als der übrige Teil, da er die meisten Strahlen empfängt, eine Eigentümlichkeit, welche die blosse Gleichung der Kurve nicht erkennen lässt.

Wenn der leuchtende Punkt *A* weiter nach dem Mittelpunkte *M* verschoben wird, so entstehen die übrigen seltsamen Linien, welche die darstellende Optik angiebt und deren Gestalt im Voraus durch die Formel (5) erkannt werden kann.

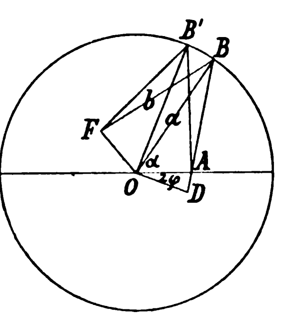


Fig. 9.

Wir wollen diese Untersuchungen hier nicht weiter fortsetzen, denn es ist dem Scharfsinne Lagrange's gelungen, die Polargleichung für alle diese katakaustischen Linien aufzustellen. Die von Lagrange geführte Rechnung erscheint im folgenden in verkürzter Gestalt. Ist nämlich $OB = a$ der Radius des spiegelnden Kreises, *A* der leuchtende Punkt, von dem Mittelpunkte *O* um $OA = c$ entfernt, *F* die Spitze des reflektierten Strahlenkegels und $\angle AOB = \alpha$, so ist der Flächeninhalt des Dreiecks *AOB* gleich $\frac{1}{2} ac \sin\alpha$. Ist aber $OF = r$ und $BD = b$, so sind die Dreiecke *OBF* und *OBD* kongruent, also $OD = r$. Bezeichnet man nun den Winkel *AOF* mit θ und den Winkel *AOD* mit 2φ, so ist

$$ar \sin(\theta - \alpha) = ac \sin\alpha + cr \sin 2\varphi.$$

Aber es ist

$$\theta - \alpha = \alpha + 2\varphi, \quad \alpha = \frac{\theta}{2} - \varphi \text{ und } \theta - \alpha = \frac{\theta}{2} + \varphi,$$

also

$$ar \sin\left(\frac{\theta}{2} + \varphi\right) = ac \sin\left(\frac{\theta}{2} - \varphi\right) + cr \sin 2\varphi.$$

Hieraus ergiebt sich sehr leicht

$$\frac{a}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{c}\right)\frac{\cos\frac{\theta}{2}}{\cos\varphi} - \frac{a}{2}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{c}\right)\frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\sin\varphi} = 1.$$

Setzt man

$$\frac{a}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{c}\right)\cos\frac{\theta}{2} = A \text{ und } \frac{a}{2}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{c}\right)\sin\frac{\theta}{2} = B,$$

so hat man also

$$1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{A}{\cos\varphi} - \frac{B}{\sin\varphi} = 1.$$

Der Punkt *F* ist so entstanden, dass der Winkel φ in den unendlich wenig verschiedenen Winkel φ_1 überging. Durch diese Änderung bleibt aber der Winkel *AOF* oder θ ungeändert; also auch die Coefficienten *A* und *B*; daher ist

$$\frac{A}{\cos\varphi_1} - \frac{B}{\sin\varphi_1} = 1.$$

Zieht man von dieser Gleichung die vorige ab und dividiert mit $\sin\frac{\varphi - \varphi_1}{2}$ setzt dann $\varphi_1 = \varphi$, so ergiebt sich

$$\frac{A}{\cos\varphi^3} = -\frac{B}{\sin\varphi^3} \text{ oder } \frac{A^{\frac{1}{3}}}{\cos\varphi} = -\frac{B^{\frac{1}{3}}}{\sin\varphi} = C,$$

wenn man diese beiden gleichen Quotienten gleich C setzt. Danach ist aber

$$\frac{A}{\cos\varphi} = CA^{\frac{2}{3}} \text{ und } \frac{B}{\sin\varphi} = -CB^{\frac{2}{3}}$$

also

$$C(A^{\frac{2}{3}} + B^{\frac{2}{3}}) = 1.$$

Es ist aber auch aus (2)

$$A^{\frac{2}{3}} + B^{\frac{2}{3}} = C^2(\cos\varphi^2 + \sin\varphi^2) = C^2 \text{ daher } C^3 = 1$$

also $C = 1$, daher endlich

$$A^{\frac{2}{3}} + B^{\frac{2}{3}} = 1$$

oder

$$3) \ldots\ldots\ \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{c}\right)^{\frac{2}{3}} \cos\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{c}\right)^{\frac{2}{3}} \sin\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{2}{a}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

§ 5.

Für $a = 2$ und $c = \infty$ erhält man aus (3) die Gleichung der ersten Epicykloide

$$1) \ldots\ldots\ r^{\frac{2}{3}} = \cos\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}} + \sin\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}}.$$

Diese Gleichung ergiebt sich aber auch aus Fig. 6, wenn man den Radius MB gleich 2 setzt, und den Winkel, welchen der Radius $MF = r$ mit ML bildet, mit θ bezeichnet.

Die Coordinaten des Punktes F sind dann

$$x = 3\cos\lambda - 2\cos\lambda^3 = r\cos\theta,$$
$$y = 2\sin\lambda^3 = r\sin\theta,$$

folglich

$$x^2 + y^2 = r^2 = 1 + 3\sin^2\lambda = 1 + 3r^{\frac{2}{3}}\left(\frac{\sin\theta}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

oder

$$r^{\frac{6}{3}} - 3r^{\frac{2}{3}}\left(\frac{\sin\theta}{2}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.$$

Daher ist nach der Cardanischen Formel

$$r^{\frac{2}{3}} = \cos\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}} + \sin\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}},$$

wie auch aus der allgemeinen Gleichung von Lagrange folgt.

Für $a = 2$ und $c = 1$ ergiebt sich aus (3) die zweite Epicykloide

$$2) \ldots\ldots\ \left(\frac{1}{r} + 1\right)^{\frac{2}{3}} \cos\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{1}{r} - 1\right)^{\frac{2}{3}} \sin\frac{\theta}{2}^{\frac{2}{3}} = 1,$$

die jedoch zur numerischen Berechnung unbrauchbar ist. Durch Verlegung des Anfangspunktes der Coordinaten in die Spitze G_1 Fig. 7 ergab sich aber die bekannte einfache Gleichung

$$\rho = 2r(1 - \cos\theta).$$

Nach Fig. 7 findet man für diese Kurve noch eine andere einfache Gleichung für rechtwinklige Coordinaten. Vertauscht man nämlich den Winkel 2φ mit λ, bezeichnet den Radiusvector MF mit r und den Winkel PMF mit θ, setzt $MP = x$, $PF = y$ und die Radien der Kreise MA und $CA = 1$, so wird

$$x = 2\cos\lambda - \cos 2\lambda$$
$$y = 2\sin\lambda - \sin 2\lambda$$

und hieraus

3) . . . . $x^2 + y^2 = r^2 = 5 - 4\cos\lambda$.

Also $\cos\lambda = 5 - r^2/4$. Es ist aber $x = 2\cos\lambda - 2\cos\lambda^2 + 1$. Setzt man hier den Wert von λ ein, so ergiebt sich die Polargleichung der Epicykloide

4) . . . . $3 + 6r^2 - r^4 = 8r\cos\theta$.

Um die Gleichung der Kurve für rechtwinklige Coordinaten zu erhalten, braucht man nur x für $\cos\theta$ und $x^2 + y^2$ für r^2 einzuführen, und findet so

$$3 - 8x + 6x^2 - x^4 = y^4 + 2y^2(x^2 - 3).$$

Es ist noch zu beachten, dass $3 - 8x + 6x^2 - x^4 = (1 - x)^3(3 + x)$ ist. Für rechtwinklige Coordinaten ergiebt sich hieraus leicht die Gleichung der Epicykloide

$$(r^2 - 3 - 2\sqrt{3 - 2x})\,(r^2 - 3 + 2\sqrt{3 - 2x}) = 0.$$

Um aus den Abscissen die Ordinaten der Kurve zu berechnen, müssen offenbar beide Gleichungen

$$y^2 + x^2 - 3 - 2\sqrt{3 - 2x} = 0 \text{ und } y^2 + x^2 - 3 + 2\sqrt{3 - 2x} = 0$$

benutzt werden, denn die Ordinaten zwischen P und G' (wenn PF die Tangente in F wäre) schneiden die Kurve in vier Punkten. Für negative Werte von x und solche die kleiner als 1 bleiben, ist der Factor $y^2 + x^2 - 3 + 2\sqrt{3 - 2x}$ complex. Er dient nur zur Berechnung der Ordinaten der Punkte, die sich von G' bis F erstrecken. Auf diese auffallende Erscheinung erlaube ich mir hier besonders aufmerksam zu machen.

II. Die Brechung des Lichts.

§ 6.

Die Fig. 10 stellt unter F einen leuchtenden Punkt im Wasser vor, welcher unter dem Winkel $OFA = \alpha = FAH$ einen Lichtstrahl FA auf den Wasserspiegel OA wirft. Um seinen Weg AE in die Luft über dem Wasser verfolgen zu können, muss man $OF = a$, durch $OC = b$ in dem Verhältnis $a/b = \sin\beta/\sin\alpha = n$ teilen, d. h. im Verhältnis der Geschwindigkeit c des Lichtes in Luft zur Geschwindigkeit c' im Wasser, so dass

$$n = \frac{c'}{c} \text{ oder } \frac{\sin\alpha}{c'} = \frac{\sin\beta}{c}$$

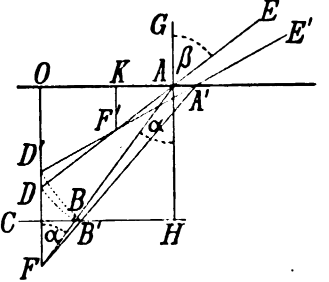


Fig. 10.

wenn n das Brechungsverhältnis zwischen Luft und Wasser ist. Zieht man nun durch C die Linie CH parallel mit dem Wasserspiegel und beschreibt mit dem Radius AB aus A den Kreisbogen BD, so giebt DAE den Weg des gebrochenen Strahles an. Denn in dem Dreiecke FAD ist der Winkel $F = \alpha$ und der Winkel $D = \pi - \beta$; also ist $\sin\beta : \sin\alpha = FA : DA = FA : BA = a : b = c : c'$.

Construiert man nun auf dieselbe Weise den Weg eines Nachbarstrahls $FA'E'$, so ergiebt sich sogleich F' als das Bild des Punktes F für ein in EE' beobachtendes Auge, wenn sich die Lichtstrahlen nach diesem Gesetze bewegen.

Wenn sich ein Punkt F in dem unter RS liegenden Medium mit der Geschwindigkeit c' bewegt, und in dem über RS befindlichen mit der grösseren Ge-

schwindigkeit c, so kommt er auf dem Wege FAB schneller nach dem Punkte B, als auf irgend einem anderen Wege FBD.

Zum Beweise nehme man die Strecke AD der Einheit gleich und verlängere FA bis E, so dass DE auf FE senkrecht steht; fälle ferner auf AB das Lot DG, dann ist nach der Figur $AE = \sin\alpha$ und $AG = \sin\beta$. Wenn T die Zeit ist, die F gebraucht um nach B zu gelangen, dann ist

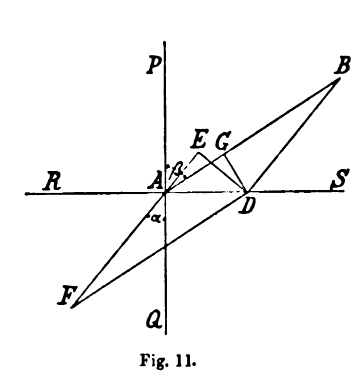


Fig. 11.

$$T = \frac{FA}{c'} + \frac{AB}{c} = \frac{FE - \sin\alpha}{c'} + \frac{BG + \sin\beta}{c} = \frac{FE}{c'} + \frac{BG}{c}.$$

Aber die Zeit um von F über D nach B zu kommen ist

$$T' = \frac{FD}{c'} + \frac{DB}{c}$$

und diese ist offenbar grösser als T. Dieser Beweis ist überraschend einfach.

Ist der Punkt A so weit von O entfernt, dass $AB = AO$ wird, dann erscheint kein Bild des leuchtenden Punktes im Wasser, oder es tritt die sogenannte totale Reflexion ein. Den Punkt, wo diese Erscheinung beginnt, lehrt folgende Construktion finden. Beschreibt man aus O mit dem Radius $OC = b$ einen Kreis und zieht die Tangente FCA, so ist A der gesuchte Punkt, denn die rechtwinkligen Dreiecke ABH und AOL sind congruent, da die Katheten AH und OL und die Winkel ABH und LAO gleich sind, also auch die Hypotenusen AB und AO. Aus den Dreiecken FOL ergiebt sich $\sin F = OL : FO = b : a = 1/n$. Für Wasser und Luft ist n annähernd $4/3$, daher $\sin F = 3/4$, also $F = 48° 36'$.

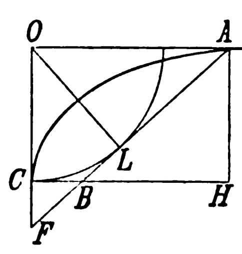


Fig. 12.

§ 7.

Die Berechnung der Coordinaten des Durchschnittspunktes zweier beliebiger gebrochener Strahlen AE und $A'E'$ (Fig. 10) ist für die erste Klasse unserer Gymnasien eine sehr nützliche Übung. Bezeichnet man OK mit x und KF' mit y und für den zweiten Strahl die Winkel mit α_1 und β_1, so erhält man die vier Gleichungen

$$1) \ldots\ldots \left.\begin{aligned}\sin\beta &= n\sin\alpha\\ \sin\beta_1 &= n\sin\alpha_1\end{aligned}\right\}, \quad \left.\begin{aligned}a\operatorname{tg}\alpha &= x + y\operatorname{tg}\beta\\ a\operatorname{tg}\alpha_1 &= x + y\operatorname{tg}\beta_1\end{aligned}\right\} \ldots\ldots (2$$

Aus diesen Gleichungen ergeben sich sogleich die beiden folgenden:

$$\sin\frac{\beta_1-\beta}{2}\cos\frac{\beta_1+\beta}{2} = n\sin\frac{\alpha_1-\alpha}{2}\cos\frac{\alpha_1+\alpha}{2} \quad \text{und} \quad \frac{a\sin(\alpha_1-\alpha)}{\cos\alpha_1\cos\alpha} = \frac{y\sin(\beta_1-\beta)}{\cos\beta_1\cos\beta},$$

und hieraus erhält man mit Benutzung der ersten von beiden

$$\frac{a\cos\frac{\alpha_1-\alpha}{2}}{n\cos\alpha_1\cos\alpha\cos\frac{\alpha_1+\alpha}{2}} = \frac{y\cos\frac{\beta_1-\beta}{2}}{\cos\beta_1\cos\beta\cos\frac{\beta_1+\beta}{2}},$$

also die Ordinate y des Punktes F'.

Mit Benutzung der ersten der beiden Gleichungen (2) ergäbe sich dann auch die Abscisse x.

Sind die Strahlen FA und FA' Nachbarn, also $\alpha_1 = \alpha$ und $\beta_1 = \beta$, so findet man sogleich

$$y = \frac{a \cos\beta^3}{n \cos\alpha^3} = \frac{a}{n} (1 - (n^2 - 1)\,\mathrm{tg}\alpha^2)^{\frac{3}{2}}$$

und hiermit aus (1) und (2)

$$x = a\,(n^2 - 1)\,\mathrm{tg}\alpha^3.$$

Eliminiert man aus diesen beiden Gleichungen den Winkel α, so wird

$$3) \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (n^2 - 1)^{\frac{1}{3}} x^{\frac{2}{3}} + n^{\frac{2}{3}} y^{\frac{2}{3}} = a^{\frac{2}{3}}$$

die Gleichung der Kurve, auf welcher die Spitzen aller der unendlich schmalen gebrochenen Strahlenkegel liegen, welche der Punkt F gegen den Wasserspiegel aussendet.

Aus der Gleichung (3) ergiebt sich die Ordinate

$$4) \;\ldots\ldots\ldots\; y = b\left(1 - (n^2 - 1)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{x}{a}\right)^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

Hiernach wird für $x = 0$ die Ordinate $y = b$. Wenn also der Strahlenkegel FO senkrecht auf den Wasserspiegel fällt, so tritt er als ein Kegel in die Luft, dessen Spitze im Punkte C liegt. Ein Auge, welches senkrecht über F in das Wasser schaut, erblickt daher das Bild dieses Punktes gehoben im Punkte C. Diese Erscheinung veranlasste bekanntlich Goethe die ganze Theorie der Brechung zu verwerfen, da doch unmöglich eine Brechung der Lichtstrahlen bewirken könne, dass der Boden eines mit Wasser gefüllten Eimers gehoben erscheint.

Für

$$x = \frac{a}{\sqrt{n^2 - 1}} = a\,\mathrm{tg}\,\alpha$$

verschwindet y, oder wenn der Winkel α, den der Strahl FA mit dem Lote FO bildet, durch die angeführte Formel

$$\sin\alpha = \frac{1}{n}$$

bestimmt wird, dann liegt das Bild des Punktes F auf der Oberfläche des Wassers in A. *(Schluss folgt).*

Über Demonstrationsphotometer.[1])

Von

Bruno Kolbe in St. Petersburg.

Die im Schulunterricht gebräuchlichen Photometer von Ritschie oder von Lambert (gewöhnlich nach Rumford benannt) werden von den Mechanikern meist als besondere Apparate geliefert, während man als Beigabe zur optischen Bank ein mehr oder weniger vollständiges Photometer nach Bunsen'schem Prinzip, oder auch nur einen Papierschirm mit einem Fettfleck erhält. In letzterem Falle kann natürlich von Lichtstärke-Messungen kaum die Rede sein, da das Verschwinden des Fleckes für die verschiedenen Visierlinien nicht gleichzeitig erfolgen kann, was sehr störend ist. — Auffallender Weise scheint man gar nicht versucht zu haben, diese drei gebräuchlichsten Photometertypen an einem Apparate derart zu vereinigen, dass sie rasch gewechselt und bequem verglichen werden

[1]) Vorgetragen (mit Demonstration d. betr. App.) in der Versammlung (russischer) Lehrer der Physik und Kosmographie am 15./27. Dez. 1887 im Pädagogischen Museum in St. Petersburg.

können. Im folgenden gebe ich die Beschreibung eines dazu geeigneten Demonstrationsphotometers, dessen Construktion so einfach ist, dass man es selbst herstellen kann, was unter Umständen ein Vorzug ist.

Um bei der Demonstration Zeit zu sparen, habe ich auf der optischen Bank[2]) ausser der Centimeterteilung, noch eine solche nach Normalkerzen angebracht, so dass die Lichtstärke der betr. Lampen direkt abgelesen werden kann. Da in den Lehrbüchern der Physik keine Photometertabelle gegeben wird, so erlaube ich mir, eine von mir neu berechnete Tabelle (*Zeitschr. für Instrumentenkunde 1887, S. 83*) zu reproduzieren, nach welcher leicht die Teilung des Skalenstabes gemacht, oder aus der gemessenen Entfernung der Lampe deren Lichtstärke abgelesen werden kann.

Photometer-Tabelle

für eine Entfernung der Normalkerze $e = 20$ cm.

J = Intensität in Normalkerzen. E = Entfernung der zu untersuchenden Flamme.

$J = \frac{E^2}{e^2} = \left(\frac{E}{20}\right)^2.$ $\qquad E = e\sqrt{J} = 20\sqrt{J}.$

J	E	J	E	J	E	J	E	J	E	J	E	J	E
0,1	6,32	1	20	11	66,33	21	91,65	31	111,35	41	128,06	55	148,32
0,2	8,94	2	28,28	12	69,28	22	93,81	32	113,14	42	129,61	60	154,92
0,3	10,95	3	34,64	13	72,11	23	95,92	33	114,89	43	131,15	65	161,24
0,4	12,63	4	40	14	74,83	24	97,89	34	116,62	44	132,66	70	167,33
0,5	14,14	5	44,72	15	77,45	25	100	35	118,32	45	134,16	75	173,20
0,6	15,49	6	48,99	16	80	26	101,98	36	120	46	135,65	80	178,88
0,7	16,73	7	52,91	17	82,46	27	103,92	37	121,65	47	137,11	85	184,39
0,8	17,89	8	56,57	18	84,85	28	105,83	38	123,29	48	138,56	90	189,74
0,9	18,96	9	60	19	87,18	29	107,70	39	124,90	49	140	95	194,93
1,0	20,00	10	63,24	20	89,44	30	109,54	40	126,49	50	141,42	100	200

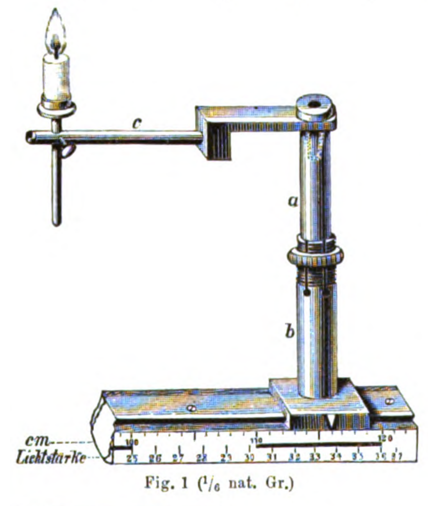


Fig. 1 (1/6 nat. Gr.)

Die Photometerskala gilt für alle drei Photometer, da der gemeinschaftliche Ständer (*a*, Fig. 1), der sowohl in einen Halter (*b*) der optischen Bank, als auch in einen besonderen Halter (mit Fuss) gesetzt werden kann, einen drehbaren Arm (*c*) hat, der den Leuchter für die Normalkerze in genau 20 cm Entfernung von der Drehungsachse trägt. In die obere konische Öffnung des Ständers werden die betr. Photometer, die einen entsprechenden konischen Zapfen haben, eingesetzt. Da die Normalkerze in constanter Entfernung bleibt, so sind die Angaben der einzelnen Photometer unter sich vergleichbar.

[2]) In Ermangelung einer optischen Bank kann ein Holzstab von 130 cm Länge (was für vorliegenden Zweck ausreicht) mit starkem Millimeterpapier (von Schleicher und Schüll in Düren) beklebt und nach geschehener Einteilung und Numerierung lackiert werden. Eine solche Skala kann leicht weithin sichtbar gemacht werden, wenn man die Decimeter abwechselnd mit einer transparenten Farbe (Karmin, Indigo etc.) markiert (vgl. Fig. 1).

Demonstration der Photometer.

1. Das Lambert'sche Photometer (Fig. 2) kann, da es doch nur historisches Interesse hat[3]), sehr einfach sein. Ein kurzer Cylinder (*a*) aus hartem Holze trägt unten den Zapfen (*c*) aus Messing und oben eine einfache Federklemme (*b*) zum Einstecken eines weissen Kartons (in der Zeichnung nur im Umriss angedeutet). Der schattenwerfende Stab kann auf der Feder (*d*) näher und weiter gestellt werden. Die Lampe wird auf einen mit concentrischen Kreisen (zum Centrieren) versehenen Holzteller gesetzt, und zwar auf den Skalenpunkt 0, während das Photometergestell bewegt wird. Diese Anordnung ist bei allen drei genannten Photometern zweckmässiger als die umgekehrte.

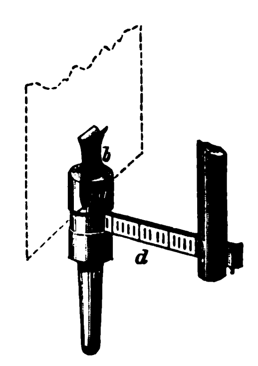


Fig. 2 (1/2 nat. Gr.)

2. Das Ritschie'sche Photometer (Fig. 3) habe ich zur Demonstration bequemer eingerichtet. Anstatt des schwer zu beklebenden massiven Holzprismas von 90° ist ein dreifach geknickter schwarzer Karton vermittelst je zweier Heftzwecken am Boden befestigt, so dass der obere Kantenwinkel 60° beträgt. (In diesem Falle stört etwaiges Reflexlicht weniger.) Auf dieses Prisma werden scharf geknickte matte Papiere (*b*) einfach aufgesetzt. Die Grenze beider Gesichtsfelder ist hierbei weit schärfer, als bei aufgeleimten Papieren. Da die eine Längswand geöffnet werden kann, so ist in dem Hohlraume des Kartonprismas Platz für Reservepapiere, die hier völlig vor Staub geschützt sind. Das Visierrohr kann leicht abgenommen werden, wie Fig. 3 zeigt. Das Photometergehäuse hat in der Mitte der Bodenplatte, sowie an der festen Längswand einen Zapfen, der in die konische Öffnung des Ständers (Fig. 1) passt. Setzt man das Photometer mit letzterem ein, so kann man nach Abnahme des Visierrohres rasch die Wirkungsweise des Apparates den Zuschauern zeigen, indem man das Gehäuse mit dem Leuchterarm (*c*, Fig. 1) entsprechend dreht.

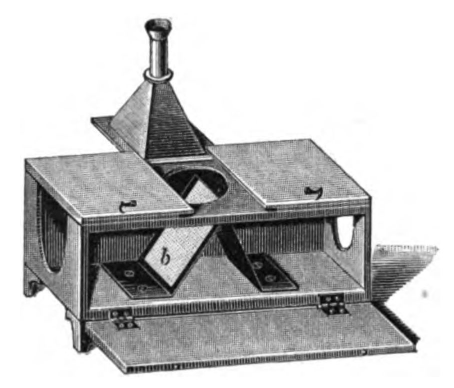


Fig. 3 (1/4 nat. Gr.)

Bei den käuflichen Photometern dieser Art sind meist halbmondförmige Öffnungen in die kurzen Wände geschnitten. Wenn nun — was gewöhnlich der Fall ist — die Höhe des Ausschnittes kleiner ist als die Flammenhöhe der Kerze, so erhält man, wenn die Kerze zu nahe gestellt wird, ein falsches Resultat, da nicht alles Licht der Kerze auf die Fläche des Photometers fällt; hierdurch kann die Lichtstärke einer zu vergleichenden Lampe bis zu 25% zu gross erscheinen.

3. Das Bunsen'sche Photometer, wie ich es zu Demonstrationszwecken

---

[3]) Lambert: Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augustae vindelicorum 1760. Als besonderer Apparat von Rumford beschrieben (Philos. Transact. LXXXXIV, 67); für praktische Messungen u. A. verbessert von Bertin-Sans (Ann. d'hygiène 1882, Janv.—Févr.); modifiziert von mir, durch Anwendung eines durchbrochenen Gitters, zur genaueren Ablesung (v. Graefe's Arch. f. Opht. 1884, II, 23, mit Abbildung).

construiert habe[4]), zeigt Fig. 4. Hier trägt der kleine Cylinder (*a*) ausser dem Zapfen noch eine Röhre (*b*), in welcher durch den in einem Schlitz beweglichen Griff (*c*) eine andere Röhre (*e*) aus- und eingeschoben werden kann. Dadurch wird die am Ende befestigte constante Lichtquelle, eine Benzinkerze (doch genügt für Schulzwecke auch eine Stearinkerze), passend eingestellt. Am Ende der festen Röhre (*b*) sind 2 Schraubenklemmen (*k*) angebracht, um das einfache Gestell des Visierrohrs (*f*) zu befestigen. Das Visierrohr ist in seinem Lager drehbar und hat einen ebenfalls drehbaren kleinen Spiegel (*d*), sodass man leicht den Fleck des Schirmes in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen kann. Die Länge des Visierrohres und der Röhre *b* ist so abgepasst, dass die Entfernung vom Fleck zum Spiegel und von dort zum Auge gerade 25 cm beträgt. Mit Vorliebe benutze ich den sehr unveränderlichen Töpler'schen Schirm (in der Mitte ein Blatt Schreibpapier No. 50, zu beiden Seiten Pauspapier No. 112, von Schleicher & Schüll in Düren). Die drei losen Blätter werden von 2 Ringen aus schwarzem Karton, deren äusserer Rand mit schwarzem Papier umklebt ist, zusammengehalten. Der Reflektor (*g*) kann nach Bedarf zurückgeschlagen werden.

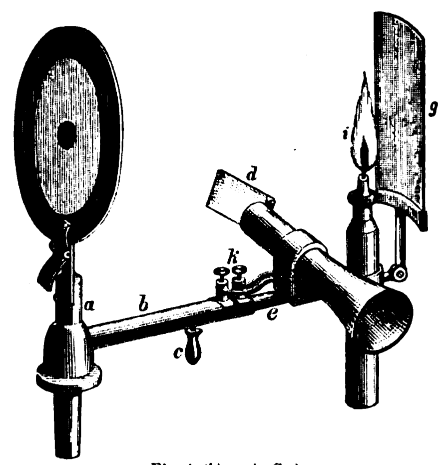


Fig. 4 (1/3 nat. Gr.)

Bei der Demonstration setze ich zuerst einen grossen Fettfleckschirm (20 cm Durchm.) auf und zeige, indem ich den als Reflektor dienenden Karton (*g*) den Zuschauern zudrehe, so dass er die Flamme *i* verdeckt (der Arm *c*, Fig. 1 steht gegenüber), wie der Fleck bald hell auf dunkelm Grunde, bald dunkel auf hellem Grunde erscheint und bei einer gewissen Entfernung der Kerze *i* verschwindet. Dann erst setze ich den kleineren (Töpler'schen) Schirm auf und mache mit Hülfe des Visierrohres die erforderlichen Messungen.

Als ich in einer Dunkelkammer vier Normalkerzen passend aufstellte, so dass die Flammen möglichst dicht standen, erhielt ich gleiche Helligkeit mit der vorher in 20 cm Entfernung benutzten einen Normalkerze bei 39,4; 40,5; 39,8 cm, also im Mittel in 39,9 cm Entfernung — ein Resultat, das ich nie mit einem Ritschie'schen Photometer erzielt habe.

Um die Normalkerze nicht dazwischen auslöschen zu müssen, empfiehlt es sich, das Modell des Bunsen'schen Photometers zuletzt vorzuführen[5]).

[4]) Ein im wesentlichen nach demselben Princip construiertes, aber für genaue Messungen eingerichtetes Photometer habe ich kürzlich beschrieben in der *Zeitschr. f. Instrk. 1887, S. 81.* — Vergleichende Versuche mit einem Bunsen'schen Photometer von Krüss in Hamburg, wo beide Seiten des Schirmes vermittelst zweier Spiegel beobachtet werden, zeigte mir, dass die bei meinem Photometer (wie bei dem Bunsen'schen Originalphotometer) angewandte Substitutionsmethode mindestens ebenso genaue Resultate liefert, wie die Vergleichung beider Schirmseiten. Auch ist man unabhängig von der verschiedenen Beschaffenheit beider Seiten des Schirmes. Vergl. Weber: *Wied. Ann. d. Phys. u. Chem. 1887, Bd. XXI, pag. 700.*

[5]) Die Anfertigung des Demonstrationsphotometers, wie auch des im vorigen Heft S. 152 beschriebenen Papier-Elektroskopes, hat der Präcisionsmechaniker Ferdinand Ernecke in Berlin übernommen.



Über die Anordnung von quantitativen Schulversuchen.

Von
Professor Dr. **E. Mach** in Prag.

Durch das mechanische Rechnen wird eine Entlastung der Vorstellungsthätigkeit bewirkt, welche es ermöglicht auch schwierigere Fälle zu bewältigen und stückweise nacheinander in die Vorstellung treten zu lassen, was diese auf einmal nicht zu fassen vermag. So grosse nicht zu unterschätzende Vorteile nun auch das Hülfsmittel der Rechnung bei schwierigeren Aufgaben gewährt, so ist doch nicht zu verkennen, dass der allzuhäufige oder ausschliessliche Gebrauch desselben bei jeder Gelegenheit nachteilig auf die Lebhaftigkeit der Vorstellung wirkt. Die Frische der mathematischen Phantasie Joh. Bernoulli's, welche mit einem Blick in dem schweren noch ungelösten mechanischen Problem der Brachystochrone sofort eine leicht lösbare optische Aufgabe erkennt, wird selbstverständlich immer nur bevorzugten Naturen eigen sein. Der aufmerksame Beobachter sieht jedoch, dass auch in dieser Richtung die Übung, oder die Unterlassung der Übung, sich sehr bemerklich macht. Während der studierende Sohn zur Lösung einer in der Haushaltung sich ergebenden geometrischen oder Mischungsaufgabe nach Papier und Bleistift greift, hat oft die Hausmutter ohne mathematische Studien die Aufgabe mit Sicherheit und in kürzerer Zeit im Kopfe gelöst. Während der Rechner z. B. die Gleichungen $x + y = 75$, $x - y = 15$ mechanisch behandelt, sieht der auf seine Phantasie Angewiesene unmittelbar, dass die Summe 75 aus der Differenz 15 und der doppelten kleineren Zahl (30) besteht. Ähnlich verhält es sich in schwierigeren Fällen.

Ich bin nun der Meinung, dass man zur Übung der Vorstellungsthätigkeit für die quantitativen Schulversuche eine Anordnung wählen soll, welche möglichst viel mit einem Blick zu übersehen erlaubt. Keineswegs soll die genaue rechnende Analyse des Versuches unterbleiben, was ja ein bedeutender Rückschritt wäre; dieselbe soll vielmehr nebenhergehen oder nachfolgen, nicht aber die zusammenhängende Darlegung einer Sache durch Ablenkung der Aufmerksamkeit auf mechanische rechnerische Nebenoperationen erschweren und unterbrechen. Einige Beispiele werden meinen Gedanken erläutern.

---

1. Wenn wir ein Fadenpendel von 1 m Länge schwingen lassen, so finden wir die Schwingungsdauer sehr nahe gleich einer Sekunde. Da nun

$$T^2 = \pi^2 \frac{l}{g},$$

so folgt wegen $T = 1$, $l = 1$ für g nahezu der Zahlenwert

$$g = \pi^2,$$

und zwar wegen

$$g = \pi^2 \frac{l}{T^2}$$

der Werth π^2 (m sec. $^{-2}$) oder rund 10 (m sec. $^{-2}$)

Bei diesem Versuch tritt ohne Rechnung der Zusammenhang zwischen der Länge des Secundenpendels und der Fallbeschleunigung so übersichtlich hervor, dass weder die Zahlenwerte noch die Dimensionen je wieder vergessen werden können.

2. Wenn 30 Gramm Messingspäne, deren specifische Wärme rund $^1/_{10}$ ist, von 100° auf 20° C (um 80°) abgekühlt werden, so beträgt die abgegebene Wärmemenge $^1/_{10} \times 30 \times 80 = 3 \times 80$ Grammcalorien. Diese Wärmemenge wird



genügen um 80 Gramm Wasser um 3° C zu erwärmen. Bringen wir die 30 Gramm Messingspäne von 100° in 80 Gramm Wasser von 17°, so nimmt die Mischung sehr rasch die Temperatur von sehr nahe 20° an, wobei der Wärmevorgang übersichtlich durch

$$3 \times 80 = 80 \times 3$$

dargestellt wird. Es thut dem Interesse an dem Versuch gar keinen Eintrag, dass das Resultat im Voraus bekannt ist; derselbe wird im Gegenteil mit desto grösserer Spannung verfolgt. Die kleinen Abweichungen von der angegebenen Disposition, sowie die nötigen Correktionen können nachträglich berücksichtigt werden.

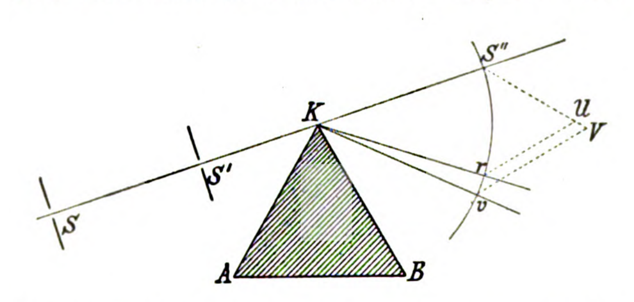
3. Dass zur Schmelzung von 1 Gramm Eis 80 Grammcalorieen verbraucht werden, kann man durch folgenden Versuch nachweisen:

Ein dünnwandiges Metallgefäss mit 80 Gramm Wasser von 20° C steht auf einer Wagschale, während die andere Wagschale mit einem Übergewicht von 4 Gramm belastet ist. Bringt man in das Wasser Schnee ein, bis die Wage auszuschlagen beginnt, so schmilzt derselbe rasch, und da

$$4 \times 80 = 80 \times 4,$$

so haben wir ein Herabgehen der Wassertemperatur von 20° auf 16° zu erwarten. Da ferner noch das Schmelzwasser fast auf 16° auf Kosten des wärmeren Wassers sich erwärmen muss, während letzteres sich nur um den 20. Teil dieser Temperaturerhöhung abkühlt, so findet ein weiteres Absinken um 0,8° — 0,7° (genauer berechnet um 0,76°) statt.

4. Ein scharfkantiges Prisma wird auf ein horizontales Zeichenbrett gestellt. Man bezeichnet die Durchschnitte KA, KB der Seitenflächen mit Bleistift. Durch 2 Spalten S, S' fällt ein das Papier streifender Sonnenstrahl SS'' auf die Kante K, an welcher er teilweise vorbeigeht. Einen Punkt dieses Strahls S'', so wie je einen Punkt r des roten und v des violetten austretenden Lichtbündels bezeichnet man ebenfalls. Zieht man



dann mit dem Radius $KS'' = 10$ cm den Kreis $S''rv$, durch S'' ein Lot auf KA, durch r und v Lote auf KB, so liesst man an KU und KV mit dem Maassstab die Längen, z. B. 16,7 cm und 17,1 cm, also die Brechungsexponenten 1,67 für das rote, 1,71 für das violette Licht ab. Durch Visieren über die Kante und Einstechen von Nadeln kann man dasselbe Resultat auch ohne Sonnenlicht erzielen.

Der Versuch führt sämtliche Operationen, welche bei genauerer Bestimmung des Brechungsexponenten mit dem Spectrometer auszuführen sind, übersichtlich vor. Nur die Rechnung wird durch die Construktion ersetzt, aus welcher sich übrigens für den Fall des Minimums der Ablenkung auch die Formel

$$n = \frac{\sin \frac{A+D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

ablesen lässt. — Der Vorteil und die Notwendigkeit der Anwendung von Fernrohren zur genaueren Bestimmung von n wird bei Ausführung des Versuches sehr deutlich fühlbar und verständlich.

5. Eine schmale vertikale Spalte von der Breite b wird durch das von einer andern fernen Spalte herkommende normal auf die Ebene der ersten Spalte treffende Sonnenlicht erleuchtet. In der Entfernung d fange ein Schirm das Beugungsbild auf, und in der Entfernung a von der Symmetrielinie des Beugungsbildes erscheine das erste Minimum. Die daselbst zusammentreffenden Strahlen können bei kleinem b und a, so wie bei grossem d als nahe parallel unter dem Winkel α gegen die Normale der Spaltenebene abgehend angesehen werden, und für dieselben gilt

$$b \,.\, \sin\alpha = \lambda.$$

Wird $\sin\alpha = \operatorname{tang}\alpha = a/d$ gesetzt, so ist

$$\lambda = b \cdot \frac{a}{d}.$$

Da für rotes Licht rund $\lambda = {}^7/_{10000}$ mm, so beobachtet man auf einem Schirm aus tiefrotem mattem Glas, für $b = 1^{mm}$ und $d = 10000^{mm}$, $a = 7^{mm}$, was durch

$$\lambda = 1^{mm} \frac{7^{mm}}{10000^{mm}}$$

übersichtlich dargestellt wird.

Wegen der bequemeren kleineren Entfernung kann man auch $b = {}^1/_2{}^{mm}$, $d = 5000^{mm}$ wählen. Dann ist

$$\lambda = {}^1/_2{}^{mm} \frac{7^{mm}}{5000^{mm}}.$$

Dass zur zweckmässigen Wahl der Anordnung der Wert der zu ermittelnden Grössen schon bekannt sein muss, wird wohl nicht stören. Jede genauere Messung setzt ja auch schon die Kenntnis eines angenäherten Wertes voraus. Ein Vorteil solcher Anordnungen möchte auch darin bestehen, dass der lange Weg von der Thatsache zum Maassbegriff sozusagen perspektivisch abgekürzt wird, was der lebendigen Auffassung sehr zuträglich ist.

Vibratorium

von

Dr. **Joh. Bergmann** in Greifswald.

(Vorgetragen in der Sitzung des Naturwissenschaftl. Vereins für Neuvorpommern und Rügen am 4. Jan. 1888.)

Die Lissajous'schen Figuren oder Schwingungscurven, wie Melde sie bezeichnet hat[1]), lassen sich graphisch mit den bis jetzt hierzu angegebenen Mitteln weit weniger leicht und vollkommen erzeugen, als auf optische Weise. Mehrere Apparate zur Aufzeichnung der Curven beschreibt J. Hagen in seiner Abhandlung[2]): „Über die Verwendung des Pendels zur graphischen Darstellung der Stimmgabelcurven.“ Sie haben alle mit einander gemeinsam, dass die Sinusbewegungen durch Pendel hervorgebracht werden. Auf der Londoner internationalen Ausstellung im

[1]) Melde, die Lehre von den Schwingungscurven, Leipzig 1864. Weitere mathematische Behandlung haben die Schwingungscurven in den folgenden Abhandlungen erfahren: Wilhelm Braun, die Singularitäten der Lissajous'schen Stimmgabelcurven, Inaug. Diss. Erlangen 1875; Himstedt, über Lissajous'sche Curven, in Grunert's Arch. 70, Heft 4, 1883; H. Ekama, die Lissajous'schen Curven, in Grunert's Arch (2) 6, Heft 1, 1887.

[2]) Zeitschrift für Mathematik und Physik, XXIV. Jahrg. 1879, S. 285.

Jahre 1876 waren zwei derartige Apparate zu sehen[3]), deren einer von Tisley & Spiller nach Airy, der andere nach Angaben von H. Knoblauch ausgeführt war.

Die vom Verfasser bei der Construktion des Apparates zur Darstellung einfacher Schwingungen[4]) angewendete Vorrichtung, die man wohl eine Sinussteuerung nennen kann, ist geeignet, für die vorliegenden Zwecke das Pendel zu ersetzen. Zu erwähnen sind nach dieser Richtung hin schon zwei Apparate: Die „Vorrichtung zur mechanisch-graphischen Darstellung der Schwingungscurven“ von E. Mach[5]) und ein von Stöhrer construierter Apparat[6]). Mach sagt über seine Vorrichtung unter anderem: „Dieser Apparat zeichnet also die Schwingungscurven verschiedener Klangfarben mit Rücksicht auf die drei ersten Partialtöne. Man braucht sich natürlich nicht darauf zu beschränken. Es hängt nur von der Zahl der angewandten Räder ab, wie viele, und nur von ihren Durchmessern, welcherlei pendelartige Schwingungen man combinieren kann. Lässt man den Schreibstift nach einer Richtung und die Schreibeplatte nach irgend einer anderen hin- und herziehen, so erhält man Lissajous'sche Figuren.“

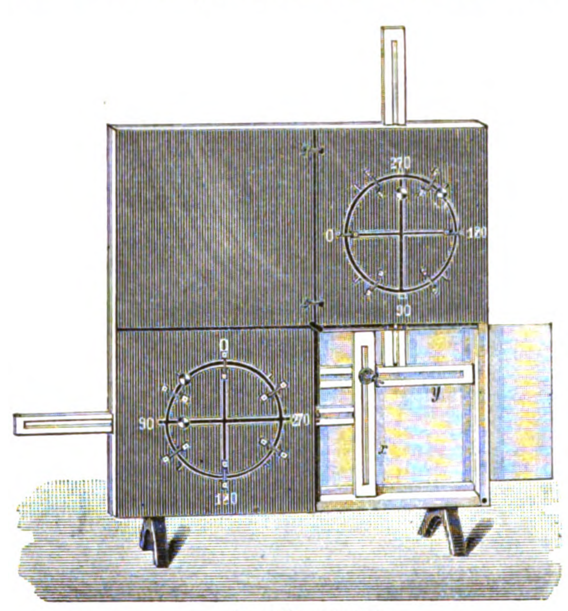


Fig. 1 (1/8 nat. Gr.)

In den folgenden Zeilen wird ein Apparat beschrieben, welcher die Schwingungscurven gleichfalls graphisch darzustellen und zu demonstrieren gestattet. Derselbe ist in Fig. 1 abgebildet. Auf der Vorderseite eines zum Teil geschlossenen, zum Teil offen gelassenen Gehäuses befindet sich unten rechts in dem nicht verdeckten Raume die Schreibvorrichtung. Zwei zu einander senkrechte Schienen x und y sind ihrer ganzen Länge nach durchbrochen. Die Kreuzungsstelle der Durchbrechungen dient zur Aufnahme eines Halters für den Schreibstift. Seitlich in den Apparat ist durch einen Einschnitt in dem Rahmen des Gehäuses ein Blatt von dem üblichen Bogenformat des Schreibpapiers eingelegt, auf welches der Stift die Curven aufzeichnet, sobald der in dem Gehäuse eingeschlossene Mechanismus vermittelst einer ausserhalb auf der Rückseite befindlichen Kurbel in Bewegung gesetzt wird. Die Schiene x führt dann in horizontaler, die Schiene y in vertikaler Richtung einfache Schwingungen aus. Die Kreuzungsstelle der Durchbrechungen beider Schienen und folglich auch der in ihr sitzende Halter des Schreibstiftes bewegen sich dabei in der resultierenden Schwingungscurve.

---

[3]) Bericht über die wissenschaftl. Apparate auf der Londoner internationalen Ausstellung im Jahre 1876. Braunschweig 1878, S. 292 u. 293.

[4]) Mitteil. a. d. naturw. Verein f. Neuvorpommern u. Rügen, 18. Jahrg. (1886), ferner Heft 1 d. Ztschr. S. 25. Während des Druckes dieser Publikation erfahre ich, dass soeben auch Fr. Plettner eine „Vorrichtung zum Zeichnen der Lissajou'schen Figuren“ (*Praktische Physik I, H. 4, S. 85*) angegeben und dabei von der Sinussteuerung Gebrauch gemacht hat.

[5]) Pogg. Ann. Band 129 S. 464 (1866); vgl. d. Ztschr. Heft 2, S. 75.

[6]) Physikalische Demonstrationen von A. F. Weinhold, Leipzig 1881, S. 240.



Wie die Bewegungen von x und y zu Stande kommen, lässt sich sogleich übersehen, wenn man das Gehäuse öffnet und den inneren Mechanismus betrachtet. Der Apparat erscheint dann in der in Fig. 2 angegebenen Gestalt. Die oben als Sinussteuerung bezeichnete Vorrichtung ist zweimal angebracht und zwar, von dem Unterschiede in der Richtung abgesehen, beide Mal genau ebenso, wie ich es in den beiden auf S. 200 Anm. 4 citierten Abhandlungen beschrieben habe. Die Bügel C und die Zapfen T ragen wieder, wenn die Thüren W und W_1 geschlossen sind, durch die in dieselben eingeschnittenen Bahnen hindurch, um als Träger zu dienen für vier Metallknöpfe, welche die Schwingungsbewegungen auf den Durchmessern der Kreise und die zugehörigen Bewegungen auf den Peripherieen markieren. Die Schienen x und y sind in einfacher Weise bei den Stellen K an den Steuerungen befestigt.

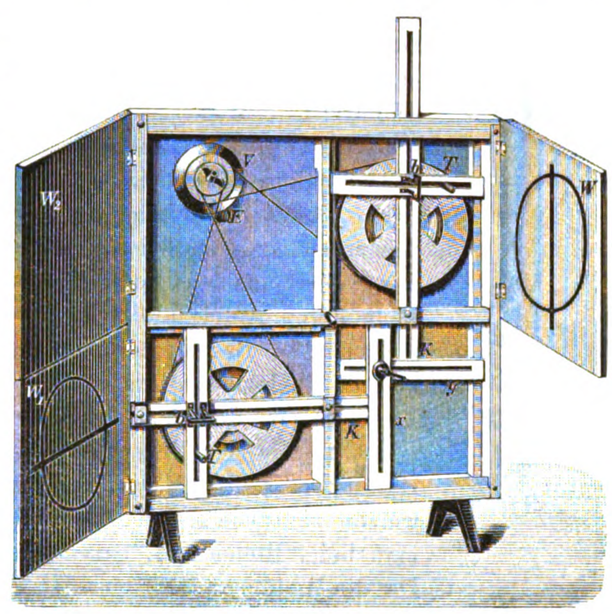


Fig. 2 (1/8 nat. Gr.)

Das Drehen der Räder wird durch die Vorrichtung V bewirkt. Eine Axe, welcher eine in der Wand des Gehäuses befestigte Hülse als Lager dient, trägt an dem nach der Aussenseite des Apparates gerichteten Ende die bereits genannte Kurbel. Auf dem anderen in der Fig. 2 sichtbaren Ende sitzen zwei Rollen. Von jeder derselben läuft eine Schnur nach den Rädern hin, welche die Steuerungen bewegen, und man übersieht, dass der Mechanismus durch die Kurbel auf der Rückseite des Apparates sich leicht in Gang setzen lässt.

Noch einige Einzelheiten sollen hervorgehoben werden. Die Steuerungsräder haben gleiche Radien, auch sind die Zapfen T von den Drehungsaxen gleich weit entfernt. Die Rollen der Vorrichtung V kann man durch andere, dem Apparate beigegebene ersetzen und auf diese Weise das Verhältnis ihrer Radien innerhalb gewisser Grenzen variieren. Das Lager für die Axe, welche die Rollen von V trägt, ist in dem Einschnitte E verstellbar. Deshalb kann man durch gehöriges Spannen der Übertragungsschnüre sowohl beide Steuerungsräder gleichzeitig, als auch jedes allein von V aus bewegen.

Schliesst man die drei Thüren W W_1 W_2 und schraubt auf die Zapfen T und Bügel C die vier Metallplatten auf, so entsteht die in Fig. 1 angegebene Form. Auf W und W_1 sind ausserhalb die Kreisperipherieen und Durchmesser in entsprechender Weise hervorgehoben, und zur Orientierung und Einteilung der Kreise in Quadranten die Zahlen 0, 90 etc. angeschrieben.

Was den von x und y geführten Schreibstifthalter betrifft, so hat derselbe die in Fig. 3 angegebene Einrichtung. Von zwei Platten M und N ist die eine M auf den Hohlcylinder H aufgelötet, die andere aufgeschraubt. Der äussere Durchmesser von H ist gleich der Breite der Durchbrechungen, der Abstand M — N gleich

der Summe der Dicken beider Schienen x und y. An die Platte N ist die Spiralfeder F angelötet, welche in eine Messingfassung mit der Schraubenmutter S endigt. Durch das Ganze wird ein Schreibstift G, etwa ein gewöhnlicher Graphitstift, von passendem Durchmesser soweit hindurchgesteckt und mit S festgeklemmt, dass beim Gleiten desselben über die Unterlage die Feder etwas gespannt ist. Soll der Stift nicht zeichnen oder erforderlichen Falles erneuert werden, so lässt sich beides nach dem Lösen der Schraubenmutter sofort bewirken.

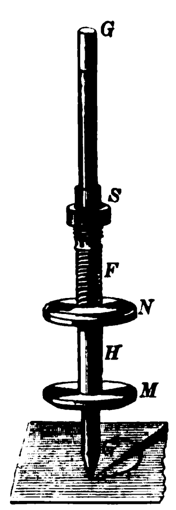


Fig. 3.
(1/2 nat. Gr.)

Der Apparat mag als Vibratorium bezeichnet werden. In der vorstehend beschriebenen Ausführung stellt dasselbe die Curven dar, welche aus der Combination einfacher Schwingungen resultieren, wenn deren Amplituden gleich und ihre Bahnen zu einander senkrecht sind[7]). Besonders demonstriert das Vibratorium die Abhängigkeit der Schwingungscurven

1) von dem Verhältnis der Schwingungszahlen,
2) von der Phasendifferenz der Schwingungen.

Handelt es sich z. B. um die der Quinte entsprechende Curve, für welche sich die Schwingungszahlen wie $2:3$ verhalten, so setzt man bei V Rollen auf, deren Radien im Verhältnis von $2:3$ stehen. Da die Radien der Steuerungsräder gleich sind, so macht von den Schienen X und Y die eine zwei volle Schwingungen, während die andere deren drei ausführt.

Um ferner die Gestalt einer Curve zu erhalten für eine gegebene Phasendifferenz φ, ändert man die Stellung von V in der Weise, dass die Steuerungsräder in den Übertragungsschnüren gleiten. Danach lassen sie sich vermittelst zweier an den freien Enden ihrer Axen auf der Rückseite des Vibratoriums angebrachter Griffe so einstellen, dass die Schwingungen auf den Durchmessern der Kreise die Phasendifferenz φ haben, was man an der Stellung der Metallknöpfe auf den Kreisperipherieen erkennt. Beim Entstehen der Curven werden also die Verhältnisse der Schwingungszahlen und die Phasendifferenzen in angemessener Weise auf der Vorderseite des Vibratoriums angezeigt.

Wie der Apparat zur Erläuterung der verschiedenen Arten des polarisierten Lichtes gebraucht werden kann, übersieht man leicht.

Selbstverständlich ersetzt das Vibratorium im weitesten Umfange den vom Verfasser angegebenen Apparat zur Darstellung einfacher Schwingungen, von welchem es eine Anwendung ist[8]).

Schulapparat zur Demonstration der Wechselwirkung galvanischer Ströme.

Von

Schuldirektor **C. Mühlenbein** in Cöthen.

Eisenlohr beschreibt in seinem Lehrbuche der Physik (11. Aufl., S. 543 f.) einen Apparat, bei welchem zwischen den beiden Polen eines in horizontaler Lage aufgestellten Hufeisenmagnetes ein Goldblättchen schlaff herabhängt, dessen Enden

[7]) Die Verallgemeinerung für ungleiche, selbst variable Amplituden und schiefe Winkel ist ohne Schwierigkeit ausführbar.

[8]) Der Apparat ist von dem Mechaniker Wittig in Greifswald angefertigt.



oben und unten an zwei vertikale Messingdrähte mit Eiweiss angeklebt und durch zwei Leitungsdrähte mit den Polen eines galvanischen Elementes verbunden sind. Wenn das Element in Thätigkeit gesetzt wird, muss das Goldblättchen je nach der Richtung des Stroms von dem Magnet abgestossen und auswärts getrieben, oder angezogen und einwärts getrieben werden. Mit diesem Apparate lassen sich die schwächsten Ströme nachweisen, so dass das hierauf beruhende Galvanometer von Cummings ebenso empfindlich gemacht werden kann, wie das von Schweigger.

Mit einigen Abänderungen lässt sich der Apparat aber überhaupt zur Demonstration der Wechselwirkung galvanischer Ströme verwerten. An dem Grundbrett *A* (Fig. 1) befindet sich die messingene Säule *a*, deren oberes, kürzeres

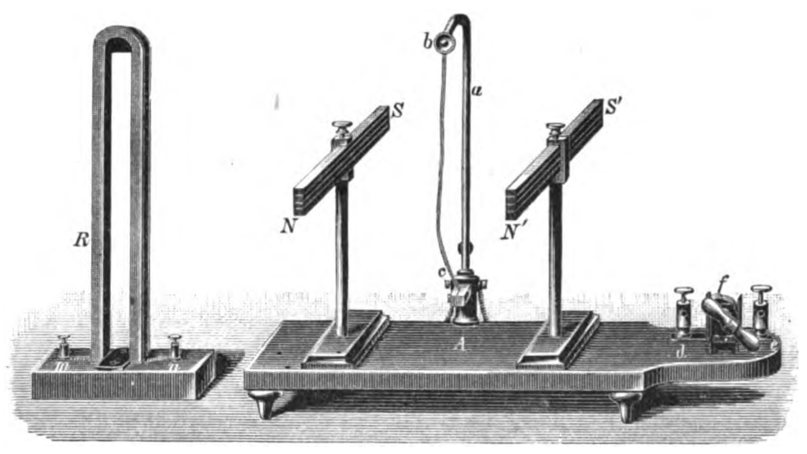


Fig. 1 (1/6 nat. Gr.)

Stück rechtwinklig nach vorn umgebogen ist, damit bei *b* ein 5 mm breiter Stanniolstreifen angebracht werden kann, welcher schlaff herunterhängt und an seinem unteren Ende bei *c* festgeklemmt ist. Die beiden Enden *b* und *c* des Stanniolstreifens sind mit den Klemmschrauben *d* und *e* und diese mit dem Commutator *f* leitend verbunden. Zu dem Apparate gehören nun noch zwei Paar Magnete, die auf Ständern horizontal befestigt sind, nämlich ein Paar Stabmagnete *NS* und *N'S'*, die aus je 3 bis 4 Lamellen zusammengesetzt sind, und ein Paar Hufeisenmagnete von der aus Fig. 2 ersichtlichen Gestalt; ausserdem ist noch ein mit Kupferdraht (etwa 1 mm dick) in etwa 15 bis 20 Windungen umwickelter Rahmen *R* erforderlich, der auf ein besonderes, mit den Klemmschrauben *m* und *n* versehenes Grundbrett aufgesetzt ist; dieses ist so eingerichtet, dass es unter das untere Ende des Stanniolstreifens *c* geschoben werden kann, so dass dieser genau in der Mitte des Rahmens *R* hängt, resp. innerhalb desselben hin und her schwingen kann.



Fig. 2 (1/6 nat. Gr.)

Mit einem so zusammengesetzten Apparate lassen sich die Ampère'schen Gesetze sowohl in Bezug auf die Wechselwirkung zwischen zwei Strömen, als auch zwischen einem galvanischen Strome und einem Magnet auf eine leichte und auch im Klassenunterricht gut sichtbare Art nachweisen.

Wenn die zwei Stabmagnete *NS* und *N'S'* dem Stanniolstreifen so genähert werden, dass dieser zwischen ihnen hängt, so wird der Stanniolstreifen in dem Falle, dass die gleichen Pole der beiden parallel gerichteten Magnete neben einander liegen, stets von einem Magneten zum andern geworfen werden, vorausgesetzt

dass durch den Stanniolstreifen ein galvanischer Strom geleitet und durch den Commutator *f* fortwährend gewendet wird; dagegen wird der Stanniolstreifen, wenn die entgegengesetzten Pole neben einander liegen, abwechselnd auswärts und einwärts getrieben werden, besonders wenn man an der einen Seite die beiden entgegengesetzten Pole durch einen Anker verbunden und so einen Hufeisenmagneten hergestellt hat. Da der Stanniolstreifen nur in der Richtung parallel der vorderen Kante des Apparates schwingen kann, so ist es zweckmässig, im ersten Falle die magnetischen Magazine von vorn nach hinten gerichtet (wie Fig. 1 zeigt) aufzustellen und in dieser Stellung von beiden Seiten her dem Stanniolstreifen zu nähern. Wenn dagegen die ungleichen Pole einander gegenüberstehen, so müssen die Magazine parallel der Vorderkante des Apparates gerichtet und so aufgestellt sein, dass das eine vor dem Stanniolstreifen, das andere zwischen diesem und der Säule *a* sich befindet.

Noch deutlicher zeigt sich die Erscheinung des letzten Versuches, wenn die beiden Hufeisenmagnete angewendet werden, und zwar einmal in der Weise, dass die gleichen Pole der Magnete sich fast bis zur Berührung gegenüberstehen und der Stanniolstreifen sich zwischen den Polen befindet; dann wird, fortwährendes Wenden des Stromes durch den Commutator vorausgesetzt, der Stanniolstreifen je nach der Richtung des Stromes abwechselnd nach dem einen und nach dem andern Magneten einwärts getrieben; wenn dagegen die entgegengesetzten Pole der Magnete einander gegenübergestellt werden, so bewegt sich der Stanniolstreifen je nach der Richtung des Stromes abwechselnd nach dem Innern eines der beiden Magnete und andernteils durch den Zwischenraum zwischen den sich noch nicht völlig berührenden entgegengesetzten Polen nach aussen. Alle diese Erscheinungen erklären sich aus der Wechselwirkung zwischen den hypothetischen Strömen des Magneten und dem galvanischen Strom und erläutern andererseits diese Wirkung in sehr anschaulicher Weise.

Ebenso deutlich wird die Wechselwirkung zwischen zwei verschiedenen galvanischen Strömen, wenn man den Rahmen *R* mit seinem Grundbrett unter *c* bringt und sowohl durch den Draht des Rahmens, als auch durch den Stanniolstreifen je einen galvanischen Strom schickt, von denen der eine, der durch den Stanniolstreifen fliesst, durch den Commutator *f* fortwährend gewendet wird. Es ist sofort klar, dass der Stanniolstreifen inmitten des Rahmens, wenn er, nachdem die Elemente in Thätigkeit gesetzt sind, von der einen Seite angezogen wird, von der andern Seite abgestossen werden muss, und dass er sich fortwährend hin und her bewegen wird, so lange die galvanischen Ströme mit dem Commutator in Thätigkeit erhalten werden.

So vorzüglich das bekannte Ampère'sche Gestell auch sein mag, so kennt doch jeder, der damit experimentiert hat, die mancherlei Unannehmlichkeiten, die damit verbunden sind, auch wenn man eine der neueren verbesserten Formen des Apparates zur Verfügung hat. Schon die Anwendung von Quecksilber ist unbequem, und wenn dieses nicht ganz rein ist, müssen verhältnismässig starke Ströme benutzt werden, damit die Versuche gelingen. Dazu bedarf das Ampère'sche Gestell überhaupt eines nicht ganz ungeübten Experimentators, der es versteht, das Ganze immer richtig zu justieren. Diese Unannehmlichkeiten und diese Bedenken fallen mehr oder weniger bei dem hier beschriebenen Apparate weg. Derselbe ist in allen seinen Teilen höchst übersichtlich; es bedarf keines besondern Geschickes, um die beschriebenen Versuche anstellen zu können; schon ein schwaches



Element, etwa ein gewöhnliches kleineres Grenet'sches Flaschenelement, resp. zwei solche reichen für alle diese Versuche vollständig aus. Dazu kommt, dass der Apparat weit billiger hergestellt werden kann, als das meist recht kostspielige Ampère'sche Gestell[1]).

Schulversuche über die gleichförmig beschleunigte Bewegung und das physische Pendel[1]).

Von

Fr. C. G. Müller in Brandenburg a. H.

Zur Bestätigung der Gesetze des physischen Pendels sind die gebräuchlichen Linsenpendel wegen ihrer verwickelten Form ungeeignet. Man ist aber imstande, sich für wenige Mark eine Anzahl von Pendeln herzustellen, welche zu den feinsten Versuchen geeignet sind. Ich benutze gerade gerichtete Drähte von 4 mm Dicke und Scheiben aus starkem Blech. Um diese Körper pendeln zu lassen, bohre ich Löcher hindurch und hänge sie damit auf eine Schneide; diese Schneide ist nichts weiter als ein in die Kante des Experimentiertisches horizontal eingetriebener Drahtstift, der mittels der Feile oben zugeschärft worden ist. Besonders aber dient mir zu Versuchen der verschiedensten Art die folgende Einrichtung.

Aus starkem Weissblech wird eine Scheibe von etwa 200 mm Radius möglichst genau in Kreisform geschnitten. Nachdem sie gut eben gerichtet, wird sie auf einer Stahlspitze genau balanziert, wobei sich zeigen muss, dass der Schwerpunkt kaum um $^1/_2$ mm von dem Mittelpunkt abweicht. Durch einen leichten Hammerschlag oben auf die Scheibe markiert die Spitze dann genau die Lage des Schwerpunktes. In die Marke setzt man die Spitze eines Bohrers von 4 mm und bohrt das Loch durch. In der beistehenden Figur ist SS der mittlere Teil der Scheibe. Genau über dem Loch wird die Buchsbaumrolle RR von 25 mm Radius befestigt. Dieselbe hat ebenfalls eine axiale Durchbohrung von 4 mm, so dass die Centrierung mittels eines hindurch gesteckten gleichstarken Drahts genau erreicht wird. Von oben wird in die Bohrung der Rolle der Haken H geschraubt, von unten ein genau in die Bohrung passendes Achathütchen x eingesetzt, auf dessen Rückseite, falls es so nicht fest sitzen sollte, man ein wenig Klebwachs bringt. Das Ganze kann auf eine Nadelspitze S gestellt werden, zu der man eine sogenannte Sacknadel nimmt, welche aber zur Verhütung einer schnellen Abnutzung auf einem Wetzstein unter einem Winkel von etwa 60 Grad zugeschliffen werden muss. Diese Nadel treibt man senkrecht durch eine Holzscheibe C, die ihrerseits auf einem schweren Holzklotz D befestigt wird. Zur Beobachtung der Umdrehung klebt man auf den Rand der Scheibe an den Enden zweier senkrechten Durchmesser schmale kurze Streifen aus verschiedenfarbigem Papier.

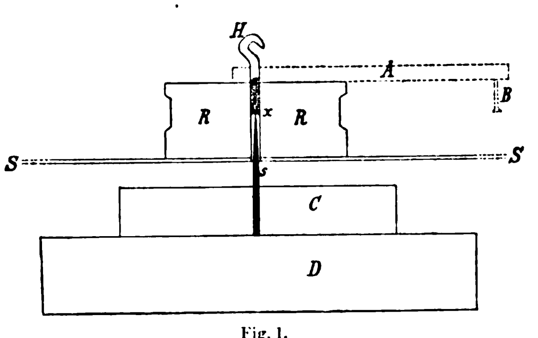


Fig. 1.

Zu dem Apparat gehört noch der leichte Holzhebel A, welcher aber nur zu einem unten zu besprechenden Versuche mittels kleiner Holzschrauben auf der Rolle befestigt wird.

Das Gewicht meiner Scheibe beträgt 812,4 g, das der Rolle 41,0 g, das des Hakens 1,2 g, der Scheibenradius 198 mm, woraus sich das auf kg und m bezogene Trägheitsmoment $K = 0{,}0159374$ berechnet. Es sei hieran noch die pädagogische Bemerkung

[1]) Der Mechaniker Max Kohl in Chemnitz liefert den Apparat in sehr sauberer und geschmackvoller Ausführung zu dem Preise von 36 M.

[1]) Vom Verfasser nach seiner Pr. Abh. „*Neue Apparate und Versuche für den physikalischen Unterricht*", (*Brandenburg a. d. H. 1887*) bearbeitet.

geknüpft, dass man vor Beginn der Versuche die Scheibe nebst einem geeigneten in mm geteilten Maassstabe den Schülern übergiebt und von einigen derselben den Radius, sowie den Abstand der Drehpunkte, bis auf 0,1 mm bestimmen lässt, was bei den kurzen und scharf markierten Strecken auch schnell und sicher geschieht. Selbstredend wird auch die Wägung der Scheibe vor den Augen der Schüler ausgeführt.

Die erste Reihe von Versuchen, welche sich mit der Scheibe anstellen lassen, bezieht sich auf die Gesetze der gleichmässig beschleunigten Bewegung. Die Scheibe wird zu dem Zweck auf die Spitze gestellt und durch einen um R gewickelten feinen Faden, welcher über eine seitwärts aufgestellte feine Rolle geht und mit Gewichten belastet ist, in Rotation versetzt. An dem Faden hängt zuerst ein Haken von etwa 0,2 g Gewicht, welcher so abgeglichen wurde, dass er soeben die Reibung überwindet, was daraus ersichtlich, dass die Scheibe nach einem kleinen Anstoss gleichmässig weiter rotiert. Nunmehr hängt man 1, 2, 3, 4 g hinzu und beobachtet die Sekundenzahl, welche beim ersten Umlauf verfliesst. Die Grammgewichte bestehen aus Haken, welche man sich aus Messingdraht von 2 mm Stärke gemacht hat. Zur Ausführung des Versuches stellt man als Index vor die Scheibe ein vertikales Stäbchen, fasst den Faden zwischen zwei Fingern, so dass er soeben anfängt, schlaff zu werden, bringt eine der an der Scheibe befindlichen Marken dem Index gegenüber, zählt nach dem Sekundenschläger von 5 rückwärts, lässt auf den Schlag 0 den Faden los und zählt weiter, bis die nämliche Marke den Index passiert. Indem man die Stellung des Index zur Marke beim Schlage vor und nach dem Vorübergang beachtet, gelingt es leicht, die Umlaufszeit bis auf $^1/_{10}$ Sekunde zu schätzen.

Aus dem Begriff des Trägheitsmoments ergiebt sich für die Zeit des ersten Umlaufs ohne weiteres

$$T = 2\sqrt{\frac{\pi K}{D}}.$$

Nach dieser Formel muss 1 g unsere Scheibe in 28,6 Sekunden einmal umdrehen. Der Versuch bestätigt dies sehr genau. So fanden wir bei einer Messung vor der Klasse für 1 g 28,3, für 4 g 14,3 Sekunden Umlaufszeit. Gleichzeitig zeigt sich bei diesen Versuchen, dass der Weg dem Quadrat der Zeit proportional ist. Bei 1 g Belastung z. B. verflossen zu $^1/_4$ Umdrehung 14,2, zu einer ganzen 28,3, zu $2^1/_4$ 43 Sekunden. Auch lässt sich leicht demonstrieren, dass die Geschwindigkeiten proportional der Zeit und in der nämlichen Zeit proportional der Kraft wachsen. Zu dem Zweck hängt man den Grammhaken nicht unmittelbar, sondern mittels eines kurzen Fadens auf. Beim 14. Sekundenschlage fängt man denselben mit der Hand und hängt ihn ab. Fortan macht die Scheibe in je 14 Sekunden eine halbe Umdrehung. Fängt man ihn aber bei der 28. Sekunde auf, so macht die Scheibe nachher eine ganze Umdrehung in 14 Sekunden. Dasselbe geschieht, wenn man 2 g nach 14 Sekunden auffängt. Wie man sieht, lassen sich mit diesen einfachen Hilfsmitteln die Gesetze der gleichmässig beschleunigten Bewegung ungleich schärfer und bequemer bestätigen, als mit der gewöhnlichen Fallmaschine. Was aber besonders hervorzuheben, es sind diese Messungen absolute, während man mittels der Fallmaschine wegen des durch Rechnung nicht bestimmbaren Trägheitsmoments der Rolle nur relative ausführen kann.

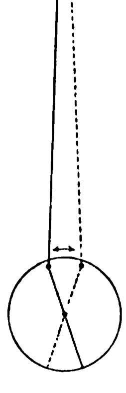
Dass bei constanter Drehkraft der Weg mit dem Quadrat der Zeit wächst, lässt sich noch sehr hübsch auf folgende einfache Weise zeigen. Man hängt die Scheibe an dem Haken H mittels eines feinen unter der Zimmerdecke befestigten, Bindfadens auf und drillt letzteren dadurch, dass man die Scheibe in raschen Umschwung versetzt, etwa 200 mal um sich selbst. Es ist einleuchtend, dass wenn man ihn sich jetzt nur um eine oder zwei Umdrehungen detordieren lässt, die Kraft sogut wie constant bleibt. In der That gebraucht die zwischen den Fingern festgehaltene Scheibe nach dem Loslassen zur ersten halben Umdrehung genau die Hälfte der Zeit, wie zu je zwei ganzen.

Um mit der nämlichen Scheibe die Gesetze des physischen Pendels zu bestätigen,

erhielt sie am Rande ein Loch von 4 mm, mit dem sie in der bereits angedeuteten Weise auf eine Schneide gehängt wird. Sie pendelt wegen des geringen Luftwiderstandes ungemein lange. Die theoretisch berechnete Schwingungszahl ist pro Minute 111,15, die sich über mehrere Minuten erstreckende Beobachtung gab wiederholt 111,2. Die reduzierte Pendellänge berechnet sich zu 289,6 mm. Es wurde nun auf dem nämlichen Durchmesser ein zweites Loch hergestellt, so dass die Aussenränder beider genau 289,6 mm Abstand haben. Es geht dies sehr leicht, indem man das Loch zuerst etwa 1 mm näher bohrt und es dann mittels einer Rundfeile bis auf den vorgezeichneten Abstand erweitert. Damit sind wir im Besitz eines Reversionspendels, welches auf diesem zweiten Drehpunkte ebenfalls genau 111,2 Schwingungen macht.

Zur weiteren Befestigung der Theorie des physischen Pendels dient noch der folgende lehrreiche Versuch. Die Scheibe wird mit dem in der Figur punktiert gezeichneten Hebel versehen auf die Spitze der Nadel s gestellt. Der Hebel A enthält genau in 100 mm Abstand vom Drehpunkte den nach innen mit einer scharfen Kante versehenen Stift B. An B zieht mittels eines kleinen Hakens ein Faden, welcher in horizontaler Richtung über eine in 5 m Entfernung befindliche Rolle geht und durch ein Gewicht gespannt wird. Sobald die Scheibe aus der Ruhelage, bei der Faden und Hebelarm eine Gerade bilden, gedreht wird, schwingt sie. Wäre der Faden unendlich lang, so lägen die Verhältnisse ganz analog, wie beim physischen Pendel. Bei endlicher Fadenlänge bleibt alles ebenso, nur dass der Angriffswinkel um den Bruchteil, welchen man durch Division des Radius in die Fadenlänge erhält, grösser wird. In unserm Falle ist also, kleine Ausschläge vorausgesetzt, das Drehungsmoment um $^1/_{50}$ zu vergrössern, 100 g üben also die nämliche Wirkung aus, wie 102 g bei parallel bleibendem Faden. Bei 100 g Belastung ist nun die berechnete Schwingungszahl 47,86, während die Beobachtung bei 10—20° Amplitude 48,0 ergiebt.

Hieran schliesst sich noch der folgende interessante Versuch, welcher äusserlich zwar ganz abweichend, seinem Wesen nach doch dem vorigen analog ist. Man hängt die Scheibe an einen feinen, unter der Zimmerdecke befestigten Draht vermittelst eines innen zugeschärften Hakens, welcher durch das Loch am Rande derselben geführt ist, auf. Dreht man sie nun um einen kleinen Winkel um ihre Axe, ohne den Mittelpunkt aus der Lage senkrecht unter dem Aufhängungspunkt zu bringen, so schwingt sie beim Loslassen um ihr Centrum in der Weise, wie es die Figur versinnlicht. Im Prinzip haben wir dann ein ‚Joujou‘, welches sich nur um wenige Grade dreht. Die Berechnung ist unter Voraussetzung ganz kleiner Ausschläge die nämliche, wie beim vorigen Versuch, nur dass hier die wirkende Kraft gleich dem Gewicht der Scheibe ist. Bei einem Versuch, wo die Länge des Radius 0,193 und des Drahts 2,1 m betrug, beobachteten wir 100,5 Doppelschwingungen; die Rechnung verlangt 100,4. In einem andern Loch, bei welchem der Abstand des Aufhängepunkts vom Centrum 48,2 mm, also ein Viertel des vorhergehenden war, machte die Scheibe richtig 50,2 Schwingungen. An Stelle der runden Scheibe verwendet man zur Beschaffung weiteren Übungsmaterials bei diesem Versuche noch eine quadratische. Den Aufhängungspunkt verlegt man dabei auf eine Mittellinie und hat dann Gelegenheit zu einer lehrreichen Variante. Man lässt nämlich die Scheibe ausser um die zu ihrer Ebene senkrechte Schwerpunktsaxe auch um ihre horizontale Mittellinie schwingen. Da das Trägheitsmoment in bezug auf letztere halb so gross ist, ist die Schwingungszahl $\sqrt{2}$ mal grösser. Nebenbei bemerkt kann man auch die runde Scheibe um einen horizontalen Durchmesser schwingen lassen, wobei die Schwingungszahl ebenfalls $\sqrt{2}$ mal grösser ist. Es übersteigt aber im allgemeinen die Kräfte der Schüler, das auf den Durchmesser bezogene Trägheitsmoment selbständig zu berechnen.


Fig. 2.

Schliesslich lassen sich mittels der Scheibe noch eine Anzahl Versuche ausführen, wenn man sie mittels des Hakens an Drähten befestigt und Torsionsschwingungen ausführen lässt. Wendet man z. B. Drähte gleicher Länge, aber verschiedener aus dem Gewicht zu berechnender Dicke an, so ergiebt sich aus den Schwingungszahlen das Gesetz, dass die Torsionselastizität mit der vierten Potenz des Durchmessers wächst. Oder man berechnet für einen bestimmten Draht die Direktionskraft aus der Schwingungszahl der Scheibe und lässt darauf andere Körper mit bekanntem Trägheitsmoment, z. B. eine quadratische Scheibe, welche am Endpunkt einer Mittellinie aufgehängt ist, an demselben Draht schwingen und zeigt, dass die Schwingungszahlen mit der Theorie übereinstimmend sind.

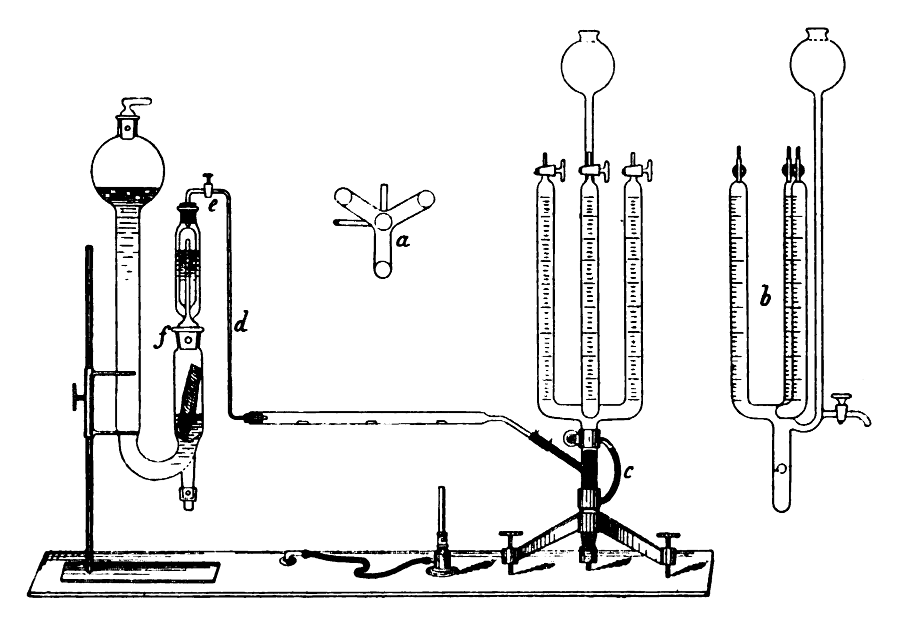
Die vorstehend beschriebenen messenden Versuche, so einfach und interesselos sie für den oberflächlichen Blick auch sein mögen, müssen für den denkenden Schüler einen ganz besonderen Reiz haben. Welche Summe geistiger Arbeit und welcher Aufwand von Logik und mathematischen Kenntnissen verbirgt sich nicht in der Zahl, welche wir für die Schwingungsdauer einer einfachen Blechscheibe berechnet haben? Wenn nun hinterher der Versuch diese Zahl genau zum Vorschein bringt, so liegt darin eine hohe geistige Befriedigung und ein Antrieb zu ernster wissenschaftlicher Arbeit.

Vorlesungsversuch zur Demonstration der Valenz der Metalle.

Von

Dr. **B. Lepsius** in Frankfurt a. Main.

Vor kurzem haben L. F. Nilson und O. Pettersson[1]) die Atomgewichte der Metalle der seltenen Erden bestimmt, indem sie abgewogene Mengen der reinen Metalle im trockenen Chlorwasserstoffgase erhitzten und die Menge des dabei in Freiheit gesetzten Wasserstoffs feststellten. Diese Methode lässt sich zu einem Vorlesungsversuche verwenden, die Valenz verschiedenwertiger Metalle zu veranschaulichen[2]).



Es eignen sich für diesen Versuch nur diejenigen Metalle, welche bei gewöhnlicher Temperatur von trockener Salzsäure nicht angegriffen werden, beim Erhitzen jedoch dieselbe unter Entwickelung von Wasserstoff und Bildung des wasserfreien Chlorides zersetzen.

[1]) Journ. f. pr. Chem. 1886, 33, 1.

[2]) Vgl. auch Lepsius, Ber. d. d. chem. Ges. 1888, 21, 556.

Werden hierbei den Atomgewichten proportionale Gewichtsmengen ein-, zwei- und dreiwertiger Metalle verwandt, so verhalten sich die entwickelten Wasserstoffvolumina wie die Valenzen derselben, also wie 1 : 2 : 3 u. s. w. Hierfür lassen sich nun die Metalle Thallium, Zink und Aluminium am besten benutzen. Da die Dampfdichten der Chloride dieser Metalle den Formeln $TlCl$[3]), $ZnCl_2$[4]), $AlCl_3$[5]) entsprechen, so besteht über die Valenz derselben in diesen Verbindungen kein Zweifel mehr. Als vierwertiges Metall dem Versuche das Thorium hinzuzufügen erscheint wegen der Seltenheit derselben unzweckmässig.

Der Versuch wird folgendermaassen ausgeführt: Das trockene Salzsäuregas wird in dem für Vorlesungszwecke unentbehrlichen Norblad'schen Apparate[6]) aus einem Stück sublimierten Salmiaks mittels concentrierter Schwefelsäure entwickelt und in dem aufgesetzten Trockenapparat, welcher ebenfalls mit concentrierter Schwefelsäure angefüllt ist, völlig wasserfrei erhalten. Obgleich der Norblad'sche Apparat (bei *f* in der Figur) eine Reguliervorrichtung besitzt, so ist es doch zweckmässig in das Leitungsrohr *d* bei *e* noch einen leicht gehenden Hahn einzusetzen. Das Rohr wird am unteren Ende durch einen Gummistopfen mit einem ca. 40 cm langen und 15 mm weiten Verbrennungsrohr aus schwerschmelzendem Glase verbunden, welches andererseits passend ausgezogen und in der aus der Zeichnung ersichtlichen Weise an den Messapparat durch ein Stück Gummischlauch angeschlossen ist.

Den Messapparat[6]) habe ich so construiert, dass man die drei zu vergleichenden und zu messenden Gasvolumina nach einander in drei Messröhren auffangen kann, ohne Hähne oder sonstige Umschaltungsvorrichtungen zu benötigen. Die Anordnung ist aus der Figur leicht zu ersehen. Aus dem Verbrennungsrohre treten die Gase in das unten mit Quecksilber abgeschlossene Rohr ein. Über dem Quecksilberabschluss teilt sich dasselbe unter Winkeln von 120° (siehe Fig. *a*) in drei Arme, welche 10 cm genau horizontal laufen und dann im rechten Winkel nach oben gebogen sind. Sie sind durch gut eingeschliffene Hähne verschliessbar und vom Hahn aus möglichst genau in Cubikcentimeter geteilt. Ihre Capacität beträgt ca. 80 — 100 ccm. Etwas unter dem Kreuzstück ist (siehe Fig. *b*) noch ein Steigrohr mit Reservoir und Entleerungshahn angelötet. Das ganze Rohr wird durch eine auf dem eisernen Dreifuss um die Vertikalaxe drehbare Messingfassung, welche gleichzeitig als Handhabe dient, festgehalten. Der Dreifuss ist mit drei Stellschrauben versehen, welche gestatten den ganzen Apparat genau vertikal zu stellen oder aber ihn nach drei Seiten hin ein wenig zu neigen. Über dem Quecksilber ist der Apparat bis an die Hähne mit ca. 5 prozentiger Kalilauge angefüllt, welche mit etwas Lackmus blau gefärbt werden kann.

Vor der Vorlesung werden die doppelten Atomgewichte der drei Metalle in Milligrammen genau abgewogen, (beim Zink und Aluminium verwendet man am besten dünnes Blech oder Draht) und mit Hilfe eines nicht rund geschmolzenen Glasstabes in das Verbrennungsrohr ca. 10 cm von einander entfernt eingeschoben: zuerst 408 mg Thallium, dann 113 mg Zink und schliesslich 54 mg Aluminium. Bei dem Versuche wird der Norblad'sche Apparat vorsichtig geöffnet, sodass ein langsamer Strom von trockener Salzsäure durch das Verbrennungsrohr geht. Sobald bei geöffneten Hähnen die Luft aus demselben völlig verdrängt ist, was man bald aus der lauten Absorption der Gasblasen vernimmt, werden die drei Hähne geschlossen. Man stellt nun eine Bunsen-Lampe unter das Thallium und disponiert den Messaparat so, dass die auftretenden Gasblasen nur in eines der drei Messrohre eintreten können. Dies gelingt leicht, wenn man den Apparat mit Hilfe einer Stellschraube schiefstellt; die Gasblasen sammeln sich alsdann in demjenigen Rohre, welches am Kreuzstück etwas nach oben gerichtet ist. Nach

[3]) Roscoe, Proc. Roy. Soc. 27, 426.
[4]) V. Meyer u. C. Meyer, Ber. d. d. chem. Ges. 1879, 1197.
[5]) Nilson u. Pettersson, Zeitschr. phys. Chem. *1.* 459.
[6]) Zu beziehen von Dr. Geissler's Nachfolger Franz Müller in Bonn a. R.

wenigen Minuten hat sich dasselbe mit genau 2 mg Wasserstoff oder (normal) 22 . 32 ccm angefüllt, gemäss folgender Gleichung:

$$\begin{array}{cccc} 2\,Tl + & 2\,HCl = & 2\,TlCl + & H_2 \\ 408 & 73 & 479 & 2. \end{array}$$

Wenn der Wasserstoff ganz aus dem Verbrennungsrohre ausgetrieben ist und die Salzsäureblasen wieder völlig absorbiert werden, wird der Messapparat umgeschaltet: man ergreift denselben an der Handhabe c und dreht mit der anderen Hand den ganzen Dreifuss um 120°, sodass die kommenden Gasblasen in das zweite Messrohr eintreten müssen, welches nunmehr an dem Kreuzstück etwas nach oben gerichtet erscheint.

Gleichzeitig stellt man die Bunsenflamme unter das Zink und nach kurzer Zeit füllt sich das Rohr mit genau 4 mg oder (normal) 44,62 ccm Wasserstoff:

$$\begin{array}{cccc} 2\,Zn + & 4\,HCl = & 2\,ZnCl_2 + & 2\,H_2 \\ 130 & 146 & 272 & 4. \end{array}$$

Nach nochmaligem Drehen des Fusses um 120° wird endlich das Aluminium zum Schmelzen erhitzt. In dem dritten Rohre sammelt sich die Wasserstoffmenge von genau 6 mg oder (normal) 67,86 ccm an:

$$\begin{array}{cccc} 2\,Al + & 6\,HCl = & 2\,AlCl_3 + & 3\,H_2 \\ 54 & 219 & 267 & 6. \end{array}$$

Die Chloride haben sich an den kälteren Stellen des Rohres als Sublimate oder in Gestalt erstarrter wasserheller Tropfen angesetzt — das geschmolzene Thallochlorid zeichnet sich, so lange es heiss ist, durch seine schöne goldgelbe Farbe aus —, nur ganz geringe Spuren von Verunreinigungen der Metalle bezeichnen die Stellen, wo diese gelegen.

Der Messapparat wird nun mit Hilfe der Stellschraube wieder vertikal gestellt. Die Volumina zeigen deutlich das Verhältnis von 1 : 2 : 3 und, um genau abzulesen, ist es nur noch nötig, nacheinander die Flüssigkeitshöhe im Steigrohr durch Ablaufenlassen mit den drei Niveaus in den Messröhren coïncidieren zu lassen.

Man hat sich zweckmässig vor der Vorlesung den Coëfficienten ausgerechnet, mit welchem ein feucht gemessenes Volumen unter dem herrschenden Atmosphärendruck und bei der im Hörsaale vorhandenen Temperatur multipliciert werden muss, um in das Normalvolumen verwandelt zu werden; multipliciert man damit die abgelesenen Volumina, so erhält man, wenn man möglichst reine Metalle angewandt hatte, die Normalvolumina von 2, 4 und 6 mg Wasserstoff mit grosser Genauigkeit, woraus sich nach den vorstehenden Gleichungen die Ein-, Zwei- und Dreiwertigkeit der angewandten Metalle ohne weiteres ableiten lässt.

Man kann an dem Apparate noch folgende Abänderungen treffen: Will man sich damit begnügen, nur das Verhältnis der Wasserstoffvolumina 1 : 2 : 3 in der Vorlesung zu zeigen und auf die absolute Messung des Wasserstoffs verzichten, so kann die Teilung weggelassen werden. Auch die Stellschrauben am Dreifuss können entbehrt werden, indem man bei dem Schiefstellen des Apparats und nachher beim Umschalten ein Holzklötzchen unter den betreffenden Fuss legt. Damit der Versuch gelinge, ist es notwendig, dass die Salzsäure völlig trocken sei, man muss daher in dem Entwicklungs-Apparate ganz concentrierte Schwefelsäure anwenden, und jede Feuchtigkeit sowohl aus dem Leitungsrohr d, wie auch aus dem Verbrennungsrohr fernhalten, da nur ganz trockene Säure die Metalle bei gewöhnlicher Temperatur nicht angreift. Es ist desshalb zweckmässig, nach dem Gebrauch des Apparates das Leitungsrohr d gleich mit Gummischlauchstückchen und Glasstäbchen zu verschliessen, weil es sich sonst sogleich mit Feuchtigkeit anfüllt.

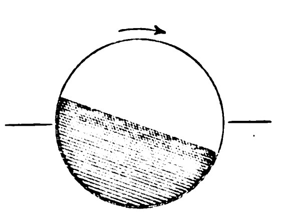
Der Versuch erläutert natürlich umgekehrt die wichtige oben erwähnte Atomgewichtsbestimmungsmethode, welche vor anderen den Vorzug hat, dass die Bestimmung der Gewichtsmenge des gebildeten Wasserstoffs, dieses leichtesten aller Stoffe, aufvolumetrischem Wege eine sehr grosse Genauigkeit gestattet, welche auch diesem Vorlesungsversuche zu gute kommt. Auch die Erläuterung des Substitutionsgesetzes lässt sich mit demselben verbinden. Der Versuch dauert nicht ganz 30 Minuten.



Physikalische Aufgaben.

Denkaufgaben.

1. Ein Mann steigt in einem durch einen Motor bewegten Tretrade an der absteigenden Seite so auf, dass er an Ort und Stelle bleibt. Wieso leistet er, sein Körpergewicht erhebend, Arbeit, da er doch immer in derselben Höhe bleibt? Er fühlt die Arbeit, dieselbe ergiebt sich durch den Verlust des calorischen Äquivalentes bei diesem (Hirn'schen) Versuch, dieselbe steht endlich ausser Zweifel, da es nicht auf die Geschwindigkeit der Stufen, sondern auf die Relativbeschleunigung der Körpermasse gegen die Stufen ankommt. Wo steckt aber die Arbeit? (Vgl. S. 111, Aufgabe 3.)


Fig. 1.

2. Ein Hohlcylinder (Fig. 1) wird um seine horizontale Axe so gleichmässig gedreht, dass ein darin liegender schwerer Halbcylinder infolge der Reibung eine bleibende Schiefstellung annimmt. Wovon hängt hier die in der Sekunde geleistete Arbeit ab?

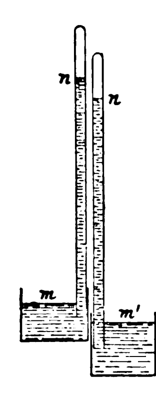


Fig. 2.

3. Zwei Torricelli'sche Röhren (Fig. 2) stehen hart nebeneinander und tauchen in Gefässe (m, m') von verschiedenem Niveau. Was geschieht, wenn die Röhren durch eine Querbohrung miteinander in Verbindung gesetzt werden? Welcher Unterschied ergiebt sich, je nachdem die Verbindung oberhalb oder unterhalb des höheren Quecksilberspiegels n angebracht wird?

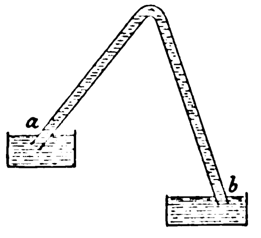
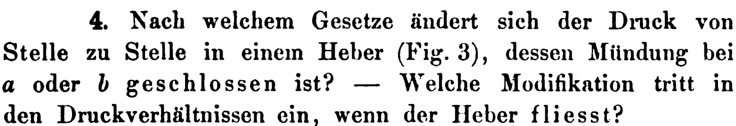


Fig. 3.



4. Nach welchem Gesetze ändert sich der Druck von Stelle zu Stelle in einem Heber (Fig. 3), dessen Mündung bei a oder b geschlossen ist? — Welche Modifikation tritt in den Druckverhältnissen ein, wenn der Heber fliesst?

5. Eine Leydener Flasche von der Capacität C und dem Potential V (also von der Energie $\frac{1}{2} CV^2$) wird durch ein Riess'sches Luftthermometer mit einer Franklin'schen Tafel von gleicher Capacität in Verbindung gesetzt, deren eine Belegung isoliert abhebbar ist. Hierbei wird die Energie $\frac{1}{4} CV^2$ in Wärme umgesetzt, während je $\frac{1}{8} CV^2$ in der Flasche und in der Tafel zurückbleibt. Wird derselbe Versuch in der Weise wiederholt, dass man die Tafel erst nach Herstellung der leitenden Verbindung zusammenlegt, so giebt das Luftthermometer keine Anzeige, während das Endresultat in Bezug auf die elektrische Energie dasselbe ist. Wo ist die Energie $\frac{1}{4} CV^2$ hingeraten? *E. Mach.*

---

6. Auf eine Wagschale wird ein Glas Wasser und ein Stück Kork gelegt, welches an einem dünnen Draht steckt; Die Wage wird in's Gleichgewicht gebracht, arretiert und dann der Draht so an einem neben der Wage befindlichen Träger befestigt, dass der Kork von Wasser bedeckt ist. Wie wird sich nun die Wage stellen und welche Kraft kommt am Träger zur Geltung? *J. Henrici, Heidelberg.*

---

7. Warum benutzt man zu Spectralversuchen paralleles Licht? — Auf welchem Umstand beruht es, dass im Allgemeinen nur bei Brechung durch ein Prisma, nicht aber bei derjenigen durch ein Planglas Farbenzerstreuung eintritt? — Warum beobachtet man beim Spectralapparat das erzeugte Spectrum gerade durch ein Fernrohr?

8. a) Kann aus dem Umstande, dass bei Sonnenaufgang sogleich Strahlen jeder Farbe unser Auge treffen, ein Rückschluss auf gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben durch den Weltraum gemacht werden?

b) *Als Anleitung:* Wie verhielte es sich hiermit unter Zugrundelegung des Ptolemäischen Weltsystems?

9. Die Sonne sendet uns (wie man sagt) paralleles Licht zu; warum vereinigt sich dasselbe nicht im Brennpunkt einer Linse? — Wie gross ist das von einer Convexlinse von 15 cm Brennweite gelieferte Sonnenbild?

10. Können wir das von einer Linse entworfene reelle Bild eines Gegenstandes direkt wahrnehmen, indem wir, statt es in der Bildebene durch einen Schirm aufzufangen, das Auge selbst an dessen Stelle bringen?

11. Welches Vorzeichen hat die Brennweite einer Luftblase in Wasser oder: Wie ändert sich die Brennweite einer Crownglaslinse, wenn man dieselbe in Schwefelkohlenstoff bringt?

J. Epstein, Berlin.

---

12. Man entferne aus dem elektrischen Flugrade alle Strahlen bis auf zwei diametrale, spiesse auf deren Spitzen gleich grosse Hollundermarkkugeln auf, so dass das Flugrad balanciert, und stelle es auf den Conduktor einer gewöhnlichen (Winter'schen) Elektrisiermaschine. Wird nun diese in Thätigkeit gesetzt, so stellen sich die Kugeln alsbald so, dass die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte auf der Ebene der Glasscheibe senkrecht steht. Wie ist die Erscheinung zu erklären? — Die Erscheinung ist dieselbe, wenn man das Flugrad nahe der Maschine auf den Tisch stellt, natürlich so, dass die Axe des Rades in die Ebene der Scheibe fällt. Wodurch unterscheidet sich aber diese Wirkung von der vorigen?

R. Wronsky, Gartz a/O.

Kleine Mitteilungen.

Nachweis des Flüssigkeitshäutchens bei Wasser.

Von Prof. Dr. **G. Krebs** in Frankfurt a. M.

Um das Flüssigkeitshäutchen bei Wasser nachzuweisen, versucht man wohl eine Nähnadel so auf die Oberfläche zu legen, dass sie nicht einsinkt. Jeder Experimentator wird aber schon gefunden haben, dass dies eine heikle Aufgabe ist.

Ganz leicht und sicher aber gelingt folgender Versuch: Man streue von nicht zu grosser Höhe Eisenfeile — es braucht nicht gerade ferrum limatum zu sein — auf eine Wasseroberfläche und man wird finden, dass immer ein grosser Teil davon auf der Oberfläche liegen bleibt, ohne unterzusinken.

[Ein einfaches Verfahren zur Anstellung des hier erwähnten Versuchs mit der Nähnadel ist vor längerer Zeit in der Zeitschrift „La Nature“ angegeben worden, ohne indessen anscheinend allgemeiner bekannt geworden zu sein. Man bringt ein Blatt Seidenpapier oder Löschpapier auf die Wasseroberfläche und legt die Nähnadel darauf; das Papier wird allmählich vom Wasser durchtränkt und sinkt auf den Boden des Gefässes, während die Nadel schwimmen bleibt. Man kann den Vorgang beschleunigen, indem man das Papier auf der Oberseite rings um die Nadel benetzt und dann nach unten drückt. Übrigens gelingt es auch ohne Mühe, eine feine Nähnadel mit den Fingern direkt auf die Wasseroberfläche zu legen. *P.*]

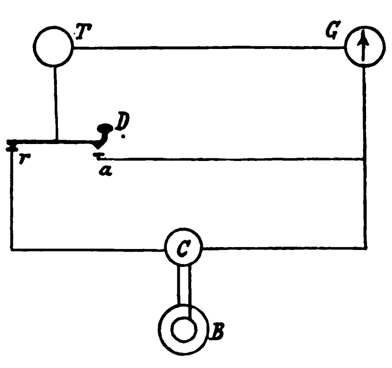
Zur Demonstration des Peltier'schen Phänomens.

Von Professor **L. Lechner** in Baden bei Wien.

Soviel mir bekannt, erfreut sich die Darstellung des Peltier'schen Versuches in der Schule nicht jener Verbreitung, welche der überraschenden Eigentümlichkeit desselben entspräche. Die Gründe davon liegen nicht fern: der Versuch mit dem Peltier'schen Kreuz ist, wie auch Weinhold bemerkt hat, ziemlich difficil und scheitert an der geringen Empfindlichkeit der gewöhnlichen Vertikalgalvanometer; ausserdem vermindert erfahrungsgemäss der alsbald sich geltend machende Verdacht, dass Zweigstromwirkungen mitspielen, bei den Schülern leicht das Schlagende seiner Beweiskraft. Das Differential- Luft- oder Ätherthermoskop aber ist teuer und erfordert eine sorgfältige Behandlung; seine Angaben sind einem grösseren Auditorium nicht mehr gut sichtbar, eine Projektion aber lässt sich nur schwierig ausführen.



Ich erlaube mir daher auf eine Anordnung des Versuches aufmerksam zu machen, welche im wesentlichen mit der von Weinhold für den Nachweis der Polarisation vorgeschlagenen übereinstimmt, in der Form aber, wie das nachstehende Schema zeigt, eine Abänderung aufweist und nur Apparate, die in jedem physikalischen Cabinette nach dem (österreichischen) Normalverzeichnis vorhanden sein sollen, zur Voraussetzung hat.



In der beistehenden Figur bedeutet B die Batterie (Element), C den Commutator, D den Druckhebel eines Telegraphenapparates, G das Galvanometer, T die Thermosäule, a den Arbeitscontakt, r den Ruhecontakt am Druckhebel. Zu Beginn des Versuches liegt der Hebel am Ruhecontakt, der Batteriestrom durchfliesst die Thermosäule und das Galvanometer, dessen Ausschlagsrichtung von den Schülern zu merken ist. Durch eine Drehung am Commutator wird der Strom unterbrochen, die Galvanometernadel geht auf den Nullpunkt zurück. Hierauf wird durch Niederdrücken des Druckhebels auf den Arbeitscontakt das Auftreten eines Thermostromes von entgegengesetzter Richtung am Galvanometer angezeigt. Eine Wiederholung des Versuches mit entgegengesetzter Stromrichtung (durch Umdrehung am Commutator) giebt die vervollständigende Controlle [1]).

Zum Gelingen genügt ein Trockenelement, eine gewöhnliche Thermosäule von Nobili und ein kleines Vertikalgalvanometer. Recht auffallende Wirkungen erzielt man mit einer Thermosäule von Noë. Die Anwendung des Commutators erspart die lästige Schwebehaltung des Druckhebels und ist auch für die analoge Darstellung des Polarisationsstromes sehr zu empfehlen. Ein Nachteil des Versuches, den er mit dem am Peltier'schen Kreuze angestellten teilt, ist der, dass damit nur die sekundäre Wirkung des Hauptstromes, der Thermostrom, nicht aber die Temperaturänderung an den Lötstellen gezeigt werden kann.

Ein historischer Verbrennungsversuch.

Von Dr. **Fr. Poske.**

Lavoisier hat (1774) durch einen klassischen Versuch die neuere Lehre von der Verbrennung begründet. Ein Jahrhundert vorher schon hatte Robert Boyle gezeigt, dass Zinn und Blei auch in hermetisch verschlossenen Gefässen durch Hitze ‚verkalkt‘ werden und dabei eine Gewichtszunahme erfahren, er hatte aber unterlassen, das Gefäss uneröffnet zu wägen, indem er sich von der Vorstellung leiten liess, dass aus der Flamme herrührende feine Stoffteilchen das Glas durchdringen und sich mit den Metallen vereinigen könnten; er hatte dem Versuch eine strenge Beweiskraft zu Gunsten dieser Vorstellung beigemessen, ohne die andere Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass die Gewichtszunahme auf Kosten der in dem Gefässe enthaltenen Luft erfolgt sein könne. Nicht also eigentlich der Umstand, dass Boyle von einer falschen Vorstellung ausging, darf als Grund seines Fehlschlusses angesehen werden, sondern vielmehr der Umstand, dass er nicht sorgsam genug alle anderen Erklärungs-Möglichkeiten erwogen und ausgeschlossen hatte.

---

[1]) Wie beim Polarisationsstrom, so lässt sich auch hier statt des Morsetasters eine Pohl'sche Wippe (mit sechs Quecksilbernäpfen) verwenden und giebt, bei übersichtlicherer Anordnung, den gleichen Erfolg. Versuche dieser Art hat schon v. Quintus Icilius (*Pogg. Ann. 1853*) benutzt um nachzuweisen, dass die Temperaturänderung an den Lötstellen der Stärke des Ladungsstromes proportional ist. Bemerkenswert ist auch, dass nach A. v. Waltenhofen (*Wied. Ann. 21, 360; 1884*) bei unsymmetrisch construierten Thermosäulen der Peltier'sche Strom dem Ladungsstrom gleichgerichtet sein kann. Dies fand bei einer zwanzigelementigen Noë'schen Säule statt, wenn der Ladungsstrom an den Heizstellen vom negativen Metall zum positiven gerichtet war und die Stromstärke 7 Ampère überstieg. — *P.*

Für Lavoisier war die Richtigstellung des Boyle'schen Versuches dadurch erleichtert, dass er mit einer bereits durch Thatsachen, namentlich aber durch die Kenntnis des Sauerstoffs unterstützten neuen Vorstellung an die Wiederholung des Versuches ging, er bemerkte daher sofort die Möglichkeit, welche Boyle entgangen war, dass nämlich die Gewichtsvermehrung bei der Verkalkung von der Aufnahme eines Bestandteils aus der im Gefäss befindlichen Luft herrühren könne; er schloss, wenn diese Vorstellung richtig sei, so müsse das Gefäss nach dem Versuche genau soviel wiegen wie vorher, es müsse aber eine Luftverdünnung entstanden sein, derzufolge beim Öffnen Luft eindringen und dann allerdings eine Gewichtszunahme des Gefässes bewirken werde (*Oeuvres II, 106*).

Von einer grossen Anzahl Retorten, mit denen Lavoisier den Versuch anstellen wollte, zersprang die Mehrzahl, nur zwei hielten bis zu Ende aus und lieferten das erwartete Resultat. Die Retorten wurden zu dem Zweck mit Zinkstäben im Gewicht von 8 Unzen (ca. 245 g) beschickt, über Kohlenfeuer bis zum Schmelzen des Zinns erhitzt und dann erst ganz zugeschmolzen, da sonst leicht Explosionen durch die in den Gefässen eingeschlossene und stark erhitzte Luft eintraten. Da die Retorten verschiedene Grösse hatten, so stellte sich überdies heraus, dass die Menge von verbranntem Metall mit der Grösse des eingeschlossenen Luftvolums zunimmt; auch erwies sich die Gewichtszunahme des Zinns fast genau so gross wie das Gewicht der verbrauchten Luft.

Der Versuch lässt sich in der Anordnung von Lavoisier schwerlich im Unterricht ausführen, andererseits möchte man ihn in den Elementen der Chemie um so weniger missen, als er sehr augenfällig darthut, dass Gewichtsvermehrung nicht von selbst, sondern nur durch Hinzutritt von Materie statthaben kann. Überdies ist der Versuch, wie die geschichtliche Betrachtung erkennen lässt, in methodischer Hinsicht überaus wertvoll und fruchtbar. Als Ersatz des Zinns aber ist der Phosphor um so geeigneter, da Lavoisier selber an diesem und dem Schwefel zuerst als Grund der Gewichtszunahme bei der Verbrennung die Aufnahme eines beträchtlichen Quantums von Luft erkannt hat (1772). Ein für die Verbrennung des Phosphors eingerichteter, etwas complizierter Apparat wird von A. W. Hofmann in seinen Vorlesungen benutzt (*Ch. Ber. 15, 2659; 1882*).

Mit den einfachsten Mitteln aber kann man den Versuch in der folgenden Weise anstellen: Auf den Boden einer Kochflasche von etwa 400 ccm Inhalt bringt man eine Schicht Sand von 1 bis 2 cm Höhe; dann schiebt man durch den Hals der Flasche ein zusammengerolltes Stanniolblatt hinein, breitet es mit Hülfe zweier Holz- oder Metallstäbe auf der Sandschicht auseinander und bringt endlich ein Stückchen Phosphor darauf. Die Flasche wird mit einem Kautschukstopfen luftdicht verschlossen, auf einer Demonstrationswaage gewogen und nun auf ein Sandbad gestellt. Der Phosphor schmilzt und entzündet sich, die Flasche erfüllt sich mit Phosphorsäuredämpfen. Nach dem Abkühlen (das durch vorsichtige Anwendung von kaltem Wasser beschleunigt werden kann) constatiert man zunächst die Nichtveränderung des Gewichts, lüftet darauf den Stopfen für einen Augenblick und findet nunmehr eine Gewichtszunahme von etwa 1 dg.

Noch schöner ist der Versuch, wenn man, wie es Lavoisier that, den Phosphor durch eine nicht zu kleine Linse mittels Sonnenlichtes entzündet; in diesem Fall kann man die Wägung fast unmittelbar nach Beendigung der Verbrennung ausführen. Bringt man in dem Kautschukstopfen eine Glasröhre mit Hahn und enger Öffnung an, so wird man bei nicht zu kleinem Kolben auch das Geräusch der einströmenden Luft wahrnehmen können, wie es Lavoisier beim Abbrechen der Spitze an seiner grösseren Retorte bemerkte.

Zur Ergänzung dieses Versuches wird immer noch die gleichfalls von Lavoisier herrührende Verbrennung von Phosphor in einer durch Wasser abgesperrten Glasglocke anzustellen sein. Überhaupt sei bei dieser Gelegenheit auf die mustergültige Darstellung hingewiesen, welche die Grundthatsachen der neueren Chemie in Lavoisiers 1789 veröffentlichtem ‚Traité élémentaire de chimie' (*Oeuvres, t. I, Paris 1864*) gefunden haben.



Berichte.

1. *Apparate und Versuche.*

Freier Fall im Vakuum. Zur Demonstration des Satzes, dass alle Körper im leeren Raum gleich schnell fallen, verwendet J. PULUJ (*Wien. Ber. 3. Nov. 1887, Wied. Ann.* ***33****, 575; 1888*) eine Eisenkugel von 1,5 cm Durchmesser und eine leichte Feder, in deren Kiel eine feine Nadelspitze von 2 mm Länge gesteckt ist; beide befinden sich in einer Fallröhre von 4 cm Weite und 150 cm Länge und werden durch einen Elektromagneten festgehalten, der in das eine Ende der Röhre eingeschraubt ist und durch einen kräftigen Strom (3 Bunsen oder Akkumulatorzellen) erregt wird. Bei Unterbrechung des Stromes fallen die beiden Körper gleichzeitig herab; das untere Ende des Rohres ist mit einem Kautschuck-Pfropfen versehen, um es vor dem Anschlagen der Kugel zu schützen.

Ein Apparat zur Vorführung optischer Beziehungen. Ein von K. L. BAUER (Karlsruhe) in *Wied. Ann.* ***33****, 218, 1888* beschriebener Apparat beruht auf dem folgenden Satze. Sind AB und NN' (Fig. 1) zwei zu einander senkrechte Durchmesser eines Kreises, und zieht man aus einem beliebigen Punkte O der Peripherie die durch N und N' gehenden Sekanten, welche den Durchmesser AB in C und D schneiden, so bilden die Punkte A, B, C, D ein harmonisches Doppelpaar. Der Apparat löst die Aufgabe, zu der constanten Strecke AB beliebige harmonische Punktepaare zu construieren, auf rein mechanische Weise, indem zwei zu einander senkrechte Metallschienen ON, ON' angebracht sind, welche ihre Lage gegen AB stetig ändern. AB ist mit einer verschiebbaren Skala versehen, die nach beiden Seiten über A und B hinaus um etwa das Vierfache des Radius fortgesetzt ist. Bringt man noch das Modell eines sphärischen Spiegels (oder einer Linse) in A oder B an und bezeichnet F den Brennpunkt, so kann man zu jedem in der Hauptaxe AB liegenden optischen Centrum die Lage des Bildes bestimmen, da bei dem sphärischen Spiegel das optische Centrum und das Bild harmonische Teilpunkte der doppelten Brennweite sind, während bei der sphärischen Linse dieselbe Beziehung besteht,

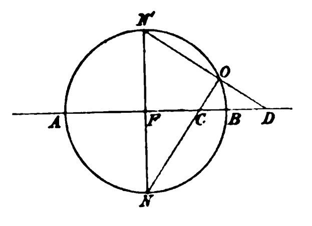


Fig 1.

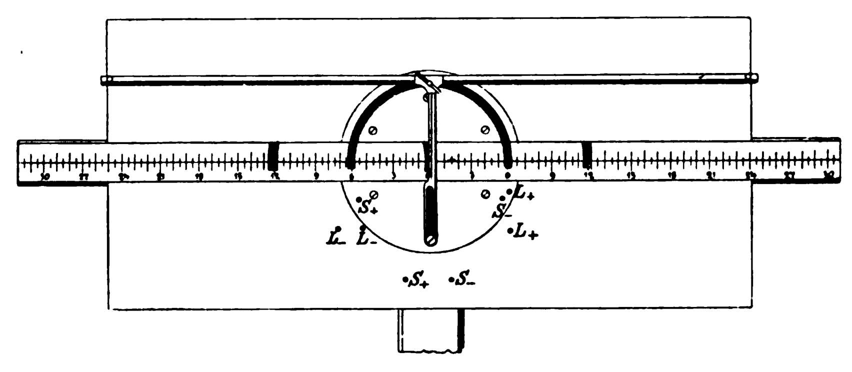


Fig. 2 (1/20 nat. Gr.)

wenn man statt des optischen Centrums seinen „Gegenpunkt“ auf der anderen Seite der Linse setzt. Die Buchstaben S und L in Figur 2 bezeichnen die Löcher, welche zum Feststecken der Spiegel- und Linsenmodelle dienen. Die Lage der Centra und Bildpunkte wird durch Messingknöpfe bezeichnet, der Gegenpunkt durch einen schwarzen Knopf. Der Apparat gestattet, wie ersichtlich, auch die Berücksichtigung virtueller Convergenzpunkte. Als einfache Beispiele werden Lupe und Ocular des Galilei'schen Fernrohrs auseinandergesetzt.

Zur Demonstration der Brechung des Lichtes. V. L. Rosenberg beschreibt im *J. d. russ. phys.-chem. Ges.* (*XIX 1. 7 — 13, 1887*) einen Glaskasten mit parallelen Wänden, 16 cm l., 7 cm br., 7 cm h., der in ein dickes Brett von 20 cm Länge und Breite [etwa 1 cm tief] eingelassen ist. Das Brett ist mit weissem Papier überzogen. Auf dem Boden des Kastens wird ein mit weisser Ölfarbe angestrichenes Blech so befestigt, dass die Oberfläche desselben mit der des Brettes in einer Ebene liegt. Der Kasten wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Vor dem Kasten ist ein Karton mit einem vertikalen, 2 mm breiten Spalt aufgestellt, durch welchen das Licht einer $^1/_2$ m entfernten Kerze auf die Kante eines Glasprismas fällt, das vertikal im Kasten steht. Ein hinter dem Ka ten aufgestellter weisser Karton zeigt 3 Bilder des Spaltes. Ein Teil des Lichtes geht, der brechenden Kante vorbei, ungebrochen durch. Der im Wasser befindliche Teil des Prismas zeigt eine Brechung $n = {}^9/_8$; die obere Hälfte des Prismas dagegen die des Glases. Den Gang der beiden ersten Strahlen kann man auf der horizontalen weissen Fläche des Kastens und des Brettes direkt verfolgen. — Ersetzt man das Prisma durch eine Cylinderlinse, so erhält man entsprechend verschiedene Brennweiten. Die Wirkung von Hohlprismen und Linsen ist ebenfalls sehr anschaulich. *B. K.*

Ein Vorlesungsversuch über Licht-Emission. Bei allmählichem Erhitzen eines Körpers breitet das ausgestrahlte Licht sich nach und nach vom Roth bis zum Violett aus. Diese Erscheinung kann bekanntlich auf die Weise beobachtet werden, dass man ein Spektroskop auf einen Platindraht richtet, der in einer Bunsenflamme glüht; das Spektrum erscheint in der Mitte vollständig, nach den Rändern zu verkürzt es sich bis auf das Roth. Eine Modifikation dieses Versuches beschreibt P. Simon im *Journ. de Phys. (2) VII, Févr. 1888.* Vor einem Spektroskop wird eine gewöhnliche Gasflamme aufgestellt; dicht am Spalt wird, senkrecht zu ihm, ein Platindraht ausgespannt, den man durch einen Strom mit eingeschaltetem Rheostaten in veränderlichem Grade glühend machen kann. Bei nicht erhitztem Draht erscheint das Spektrum von einer dunklen Linie quer durchschnitten. Bei Durchgang eines Stromes von wachsender Stärke verschwindet die dunkle Linie zuerst im Roth, sobald das vom Draht ausgesandte rothe Licht dieselbe Intensität erlangt hat wie dasjenige des Spektrums. Bei noch mehr vergrösserter Stromstärke hebt sich die Linie leuchtend vom Roth ab, während sie im Grün verschwindet und im Violett noch dunkel bleibt. Dann schreitet die unsichtbare Partie der Linie allmählich bis ins Violett vor und endlich erscheint die Linie in ihrer ganzen Länge hell leuchtend. Der Versuch gelingt mit Leichtigkeit, wenn der Abstand der Lichtquelle vom Spektroskop, also die Intensität des Spektrums, passend reguliert ist.

Wärmeleitung von Metallen. Die Vorführung der Wärmeleitung der Metalle im Unterricht gewinnt durch ihre nahe Beziehung zum Ohm'schen Gesetz erhöhte Bedeutung. Es sind in der letzten Zeit mehrfach Vorschläge für eine verbesserte Demonstration des Vorganges gemacht worden (vgl. K. Noack in der *Ztschr. zur Förd. d. phys. Unt. 1886 S. 67*). A. Kurz beschreibt im *Rep. d. Ph. XXIII, 650 (1887)* Versuche, bei welchen ein Thermo-Element benutzt wurde, das aus zwei unter spitzem Winkel zusammengelöteten Stäbchen aus Bi und Sb bestand. Das gemeinsame Ende war auf einen Stiel aufgesetzt, der entweder durch eine Klemmschraube mit dem zu prüfenden Metalldraht verbunden oder bei dickeren Stäben in Löcher derselben gesteckt werden konnte. Die freien Enden des Thermo-Elements waren mit einem Beetz'schen Vorlesungs-Galvanometer verknüpft. Bei Verwendung einer Bunsenflamme gab ein Eisenstab von 0,43 cm Dicke in den Abständen 4, 6, 8, 10 cm Ausschläge von 16, 10, 8, 5 Graden. Die hieran geknüpfte Berechnung des Verhältnisses zwischen „Wärmeabgabeconstante“ und „Wärmeleitungsconstante“ giebt freilich ein von den genauen Messungen von Wiedemann und Franz erheblich abweichendes Resultat; bei einem Kupferstab war die Abweichung geringer. An Versuchen von Wiedemann und Franz mit einem Kupferstab, dessen eines Ende durch Wasserdämpfe erwärmt wurde, hat sich ziemlich genau das Gesetz



bestätigt, dass zu constanten Längendifferenzen constante Temperaturquotienten gehören. Es entsprachen nämlich den Abständen 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 Zoll die Temperaturen 100, 75.8, 57.4, 43.3, 32.2, 23.0, 15.5 Grad, deren Quotienten der Reihe nach 0.76, 0.76, 0.76, 0.77, 0.72, 0.68 sind. A. Kurz schliesst daraus, dass von den beiden Integrationsconstanten der allgemeinen Lösung $t = Ce^{ax} + C'e^{-ax}$ die Constante C in nicht zu grossem Abstand von der Wärmequelle nahezu Null gesetzt werden könne, wie es jenes (von Despretz 1822 aufgestellte) Gesetz erfordert.

Ein Vorlesungsversuch über Wärmeleitung. Eine Umkehrung der üblichen Versuche über Wärmeleitung bildet der folgende, von Fr. Kohlrausch gelegentlich seiner Untersuchung über das Wärmeleitungsvermögen harten und weichen Stahls beschriebene Versuch (*Sitz.-Ber. Würzb. Phys.-Med.-Ges. 1887, Dezbr.*). Man stellt die zu vergleichenden Stäbe mit den unteren Enden in eine Kältemischung, etwa aus Schnee und Weingeist, und beobachtet die Höhe, bis zu welcher ein Wasser- bez. Eisbeschlag aus der umgebenden wärmeren Atmosphäre stattfindet. So betrug die Beschlagshöhe bei hartem Stahl 72 mm, bei weichem Stahl 92 mm, bei Schmiedeeisen 110 mm. Noch auffälliger wird offenbar die Wirkung sein, wenn Metalle von sehr differentem Leitungsvermögen, wie Kupfer, Eisen, Neusilber angewendet werden.

Polbestimmung der Influenzmaschine. Das einfachste Verfahren hierfür ist von O. Mund (*Wied. Ann.* ***31****, 138; 1887*) mitgeteilt worden: Man nähert die Elektroden bei Weglassung der Leydener Flaschen bis auf 1—1½ cm, dann zeigt sich an der positiven Elektrode eine 1—2 mm lange hell leuchtende Strecke, die sich nach dem negativen Ende hin büschelförmig verästelt. K. L. Bauer bemerkt (*Rep. d. Phys.* ***24****, 8; 1888*), dass die beschriebene Erscheinung im wesentlichen schon von Henley für denselben Zweck benutzt worden ist (vgl. Nicholson in *Gilb. Ann. Bd. 23; 1806*). Auch die Ablenkung einer Flamme nach der negativen Elektrode hin war schon Henley bekannt. K. L. Bauer empfiehlt folgende Anordnung als Vorlesungsversuch: Man richte einen Bunsenbrenner so vor, dass er eine kleine, hell leuchtende Flamme giebt, vernichte die Flamme durch Zudrücken des Schlauches für einen Augenblick, oder durch Ausblasen und führe dann den Brenner gegen die erregte Influenzmaschine, so dass das Leuchtgas zwischen den voneinander entfernten kugelförmigen Elektroden emporströmt; sofort entzündet der schwach leuchtende Funkenstrom das aus Gas und Luft entstandene Gemisch und die erzeugte kleine leuchtende Flamme wendet sich sogleich nach der negativen Elektrode. Der Versuch lässt sich auch mit einer eben ausgeblasenen Kerze anstellen.

Elektricität durch Tröpfchenreibung. Von J. Elster und H. Geitel sind Versuche beschrieben, welche mit geringen Mitteln die bei der Armstrong'schen Dampfelektrisiermaschine zu Grunde liegende Thatsache zu demonstrieren gestatten. Verbindet man eine isolierte Metallplatte mit dem Goldblattelektroskop und setzt sie dem Sprühregen eines Zerstäubers aus, so beobachtet man im allgemeinen keine elektrische Erregung. Eine solche tritt jedoch ein, sobald man Flächen anwendet, welche vom Wasser nicht benetzt werden, z. B. junge Blätter von Tropaeolum majus, Tulipa Gesneriana, Caladium antiquorum u. a.; diese Blätter zeigen, mit dem Elektroskop verbunden und dem Zerstäuber ausgesetzt $-E$, während der Wasserstaub $+E$ annimmt. Die Ladung wirkt sogar auf Hollundermarkpendel; bläst man den Wasserstrahl durch ein zur Röhre zusammengerolltes und zur Erde abgeleitetes Blatt von Caladium hindurch, so kann man der isolierten Metallplatte kleine Funken entziehen. Auch getrocknete Blätter sind brauchbar, sofern ihre Oberfläche geschont wurde. Die stärksten Wirkungen erhält man in allen diesen Fällen, wenn man die Mündung des Zerstäubers in der Mitte einer Stanniolröhre (etwa 2 cm lang, 1 cm breit) anbringt, wodurch man die Influenzwirkung der elektrisch geladenen Auffangeplatte vermindert. — Dasselbe Verhalten zeigen Metallplatten, die mit Wachs oder Schellack, auch wohl mit Schwefel oder Fett überzogen sind; namentlich

eignen sich dafür schwache konische Metallröhren, die innen einen Wachsüberzug haben. — Die Elektricitätserregung tritt auch ein, sobald durch genügend hohes Erhitzen eines Metalls seine Benetzbarkeit aufgehoben wird. Man befestigt am Knopfe des Elektroskops einen starken Kupferdraht, dessen anderes Ende zu einer engen Spirale aufgerollt ist; diese wird zur Rotglut erhitzt und dem Strahl des Zerstäubers ausgesetzt, worauf sofort ein Ausschlag der Goldblättchen erfolgt, der bei Anwendung von Alkohol oder Äther noch beträchtlich stärker als bei Wasser ist. Eine länger dauernde Elektricitätsentwicklung erreicht man, indem man ein Messingrohr in einen Eisenblechschirm einpasst und von der einen Seite dieses Schirmes her durch eine Gebläseflamme erhitzt, während man gleichzeitig den Strahl des Zerstäubers hindurchschickt. Eine isolierte Auffangplatte auf der anderen Seite des Schirmes kann dadurch so viel Elektricität erhalten, dass eine damit geladene kleine Leydener Flasche einen hellen Funken giebt. (*5. Jahresbericht d. Vereins für Naturw. zu Braunschweig S. 28, vgl. Wied. Ann. 32, S. 74; 1887.*)

Ein elektrischer Drehapparat als Messinstrument. In seiner gewöhnlichen Form ist der Drehapparat (Tourniquet) nur ein Demonstrationsapparat zum Nachweis des Elektricitätsverlustes durch Spitzen und der damit verknüpften Reaktionswirkung. Kämpfer hat vor einiger Zeit (*Wied. Ann. XX, 601*) versucht es zur Messung elektrischer Grössen zu benutzen. Eine sehr sinnreiche Umgestaltung des Instruments für denselben Zweck wird von E. Bichat in den *Ann. de Phys. et Chim. 6 sér. t. XII. 64 (1887)* beschrieben. Die Construktion stützt sich darauf, dass ein elektrisch geladener dünner Metalldraht, welcher einem Conduktor von gleichem Potential gegenübersteht, nur an der dem Conduktor abgewandten Seite einen Verlust an Elektricität erfährt. Aus vier hohlen Metallröhren von 0,25 cm Durchmesser ist ein rechteckiger Rahmen von 36 cm Höhe und 8 cm Breite hergestellt, welcher an einem isoliert befestigten Argentandraht von 86 cm Länge und 0,02 cm Dicke drehbar aufgehängt wird. Neben den langen Seiten sind in 2 cm Abstand zwei sehr dünne Platindrähte (von 0,00501 cm Dicke) ebenfalls vertikal gespannt und unten und oben mit dem Rahmen leitend verbunden, derart dass die verbindenden Querarme senkrecht zur Ebene des Rahmens stehen, und dass der eine Draht vor, der andere hinter dem Rahmen liegt. Verbindet man den Rahmen mit dem Conduktor einer Elektrisiermaschine, so erfolgt eine Drehung, deren Geschwindigkeit ein Maass für die Reaktionswirkung der ausströmenden Elektricität abgiebt. Um Störungen durch ungleichmässiges Entweichen der Ladung zu verhindern, sind der obere und der untere Teil des Apparats mit Metallcylindern umgeben, welche nur das mittlere Stück der vertikalen Drähte frei lassen und mit dem Rahmen leitend verbunden sind. In der unteren cylindrischen Hülle endlich befindet sich ein Gefäss mit Schwefelsäure, in welches ein am Rahmen befestigter Draht mit Dämpfungsvorrichtung eintaucht. Der ganze Apparat steht während des Gebrauchs in einem Gehäuse aus Eisenblech von 1,40 m Durchmesser, welches mit dem Erdboden leitend verbunden ist. Durch Vergleich mit einem absoluten Elektrometer wurde festgestellt, dass die Drehung erst bei einer bestimmten Höhe des Potentials beginnt, welche für positive Elektricität etwas grösser als für negative ist (69,1 C. G. S. gegen 63,2). Drähte aus Gold oder Silber von demselben Durchmesser verhielten sich ebenso, bei Eisen, Nickel, Aluminium dagegen waren die Anfangswerte bei negativer Ladung schwankend und wurden erst mit der Zeit demjenigen beim Platin gleich, was mit der Oxydierung durch das Ozon zusammenhängt. Der Unterschied zwischen positiver und negativer Ladung würde sich nach einer Maxwell'schen Hypothese dadurch erklären lassen, dass zwischen Metallen und Luft eine elektrische Differenz besteht. Mit steigender Temperatur vermindert sich der Wert des Anfangspotentials beträchtlich, was auf einen bedeutend stärkeren Übergang der Elektricität auf die Luft hinweist. Bei Rotglut verschwindet auch der Unterschied zwischen positiver und negativer Elektricität. — Die Natur des umgebenden Gases ist auf den Vorgang von Einfluss, und zwar ist der Anfangswert des Potentials am kleinsten für Wasserstoff, grösser für Luft, noch grösser für Kohlensäure.



Krystallbildung durch Diffusion. Taucht man, nach Ch. Guignet, *(C. R. CIII, 873; vgl. Rep. d. Ph. XXIII, 250; 1887)* in eine gesättigte Lösung eines Körpers A einen andern B, der darin ebenfalls löslich ist, z. B. Paraffin in eine Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff, so scheidet sich der Körper A in schönen Krystallen aus. Dasselbe erreicht man, wenn man auf die gesättigte Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff erst reinen Schwefelkohlenstoff und auf diesen eine Flüssigkeit bringt, in welcher der feste Körper gleichfalls, aber in geringerem Grade löslich ist (Öl, Alkohol, Essigsäure, Benzin, Petroleum). Mit zunehmender Diffusion der beiden Flüssigkeiten scheidet sich der Schwefel an eingetauchten Holzstäbchen in schönen Octaëdern aus. Ähnliche Erscheinungen (beiderlei Art) lassen sich mit chemisch differenten Salzen hervorrufen, deren concentrierte Lösungen sich in zwei in einander gestellten Schalen befinden und durch eine daraufgegossene Schicht reinen Wassers mit einander in Verbindung gesetzt werden. So verhalten sich Na_2SO_4 und $CaCl_2$, Na_2SO_4 und $BaCl_2$, Na_2SO_4 und $PbC_4H_6O_4$ u. s. f.

---

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Wärmeleitung in hartem und weichem Stahl. Die von Wiedemann und Franz nachgewiesene Beziehung zwischen dem elektrischen und dem thermischen Wärmeleitungsvermögen gilt nach Fr. Kohlrausch *(Sitz.-Ber. Würzb. Phys. Med. Ges. 1887, Dezbr.)* auch für die verschiedenen Härtezustände des Stahles. Der Verfasser fand für eine harte Stahlsorte das thermische Leitungsvermögen $K = 0{,}062$ (gr. Cal./cm. sec.), für eine weiche Sorte $K = 0{,}111$, also um etwa 80% grösser. Das elektrische Leitungsvermögen wurde zu 3,3 bez. 5,5 bestimmt. Das Verhältnis des thermischen zum elektrischen Leitungsvermögen ergab sich daraus bei hartem Stahl $= 0{,}019$, bei weichem 0,020; ähnliche Werte folgen aus den früher von Kirchhoff und Hansemann ausgeführten Messungen. Es scheint demnach das Verhältnis der beiden Leitungsvermögen dasselbe zu bleiben, während jedes einzelne von ihnen bis gegen das Dreifache bei verschiedenen Sorten differieren kann.

Der elektrische Leitungswiderstand des Quecksilbers. Nach einer vorläufigen Mitteilung von Fr. Kohlrausch in den *Sitz.-Ber. Bayr. Ak. d. W. math. phys. Kl. 1888, Heft. 1* hat sich der Wert des Ohm in m/qmm Quecksilber bei 0° auf Grund zweijähriger Beobachtung mit verschiedenen Instrumenten zu **1,0632** ergeben.

Quermagnetisierung von Stahlstäben. Wird ein Metallcylinder von einem Strom in der Längsrichtung durchflossen, so muss sich der Cylinder quer magnetisieren; ein jeder Ring des Querschnittes muss sich demnach verhalten wie ein geschlossenes Solenoid oder wie ein magnetisierter Eisenring. Der Nachweis hierfür ist bisher nur indirekt geführt worden (Villari, Wiedemann); P. Janet beschreibt in den *C. R. 14. Nov. 1887* eine Methode, welche den direkten Nachweis liefert. Ein Stahlcylinder von etwa 30 cm Länge und 1,5 cm Durchmesser wird durch einen axialen Schnitt in zwei Hälften gespalten, deren ebene Flächen vollkommen glatt poliert und aneinander gelegt werden. Man lässt einige Sekunden lang einen Strom von 30—50 Ampères hindurchgehn, trennt dann die Hälften, legt auf die ebene Fläche der einen ein Blatt Papier und streut Eisenfeile darauf; diese ordnet sich sofort in gradlinige sehr regelmässige Fäden, welche senkrecht zur Axe des Cylinders gerichtet und von zwei „Pollinien“ parallel zu dieser Axe begrenzt sind. Eine Magnetnadel stellt sich überdies über der ebenen Schnittfläche senkrecht zur Axe des Cylinders.

In einer zweiten Mitteilung (*C. R.*, *16. Jan. 1888*) wendet der Verfasser das untersuchte Phänomen an, um den Magnetisierungscoëfficienten des Eisens zu bestimmen, indem er den Induktionstrom in Rechnung zieht, der durch die Quermagnetisierung in der Achse des Cylinders erzeugt wird. Die Methode hat den Vorteil, dass keine Spirale zur Erzeugung eines magnetischen Feldes angewandt zu werden braucht. Der gefundene Wert ist $k = 14{,}5 + 0{,}833\,f$, wenn f die magnetische Kraft in einem Punkte des Eisenstabes bedeutet.

Theorie der Volta'schen Wirkung. Von J. J. Brown sind, anschliessend an frühere Arbeiten, Versuche veröffentlicht worden, welche zu Gunsten der chemischen Theorie der Volta'schen Contaktwirkung sprechen (*Rep. d. Phys. 1887, S. 731*). Die condensierte Flüssigkeitsschicht an der Oberfläche der Metalle wird vom Verf. nicht als Isolator (wie in De la Rive's Theorie) sondern als elektrolytischer Leiter betrachtet. Durch Versuche an einem Quadrant-Elektrometer weist er nach, dass bei einer Anzahl von Metallcombinationen die elektrische Differenz sich gegen die in Luft beobachtete umkehrt, wenn man sie in eine chemisch verschiedene Atmosphäre bringt; in dieser Weise verhalten sich Cu/Fe in H_2S, Cu/Fe in NH_3, Ag/Fe in H_2S, Cu/Ni in NH_3, Cu/Ni in HCl. Dies Verhalten geht parallel damit, dass die elektrische Differenz derselben Metallpaare in einem Wasserelement ihren Sinn umkehrt, wenn dem Wasser die analogen Substanzen (K_2S, NH_3, HCl) zugesetzt werden. Fernere Versuche zeigten, dass durch Trocknen der die Metalle umgebenden Atmosphäre die Potentialdifferenz eine Verminderung erfuhr, die bei Zutritt feuchter Luft sehr bald wieder aufgehoben wurde. Es gelang dem Verf. endlich, indem er die Metallplatten eines Cu/Zn Condensators genügend weit näherte, ein galvanisches Element aus scheinbar trockenen Metallen zu construieren, bei welchem die aneinander grenzenden Feuchtigkeitsschichten an der Oberfläche der Metalle die Rolle des Elektrolyten spielten. Der Nachweis des Stromes wurde durch Galvanometerablenkung und durch Telephonbeobachtung geführt; dieser Strom konnte durch die Wirkung eines Leclanché-Elements polarisiert werden, der Widerstand der Zwischenschicht des Condensators entsprach 50 bis 100 Ohm. Damit in Zusammenhang lässt sich auch ein alter Versuch von Gassiot setzen, den der Verf. einwandfrei gestaltet, indem er die Kupferplatte des Condensators mit einem Kupferquadranten, die Zinkplatte mit einem Zinkquadranten des Elektrometers verbindet. Dann zeigt sich, dass bei Änderung der Capacität (Näherung der Platten) des Condensators Elektrizitäten auftreten, obwohl nirgends Metallcontakt stattfindet. Zur Erklärung der Erscheinungen bezieht sich der Verf. auf die von v. Helmholtz bereits auf die Polarisationsvorgänge angewendete Idee der elektrischen Doppelschicht. Demzufolge wäre eine Zinkplatte mit einer elektrischen Doppelschicht behaftet zu denken, deren — Ladung sich aussen, + Ladung innen befindet; beim Kupfer ist eine ähnliche Doppelschicht, aber von geringerem Moment anzunehmen. Ist das elektrische Gleichgewicht mit dem umgebenden Medium hergestellt, so werden die Aussenschichten gleiches Potential, die verschiedenen Metalle aber ungleiches Potential besitzen, und zwar Zn ein niedrigeres als Cu; verbindet man beide metallisch, so fliesst + Elektrizität von Cu zum Zn, und die Luft, welche die Oberflächen der Platten unmittelbar bedeckt, erhält dadurch eine Potentialdifferenz, welche derjenigen vor Schluss der Contaktes genau entgegengesetzt ist.

Chemische Einwirkung von Kohle auf absorbierten Sauerstoff. Charles I. Baker gelangt bei Untersuchung der Absorption von Gasen durch Kohle (*Journ. of the Chem. 1887, 249; Beibl. d. Ph. XI, 755, 1887*) zu den folgenden Resultaten: 1) Feuchter Sauerstoff, der durch Kohle in Vakuum bei —15° absorbiert worden ist, wird durch andauernde Erwärmung auf 12° weder frei noch als Verbindung ausgetrieben. 2) Unter denselben Umständen absorbierter feuchter Sauerstoff liefert bei andauernder Erwärmung auf 100° fast reine Kohlensäure. 3) Wird Kohle eine Woche lang mit Wasserdampf von 100° behandelt, so bildet sich keine Kohlensäure. 4) Trockener Sauerstoff, der von Kohle absorbiert war, wird bei 450° als Kohlenoxyd ausgeschieden. 5) Wird Kohle in trockenem Sauerstoff andauernd auf 100° erhalten, so bildet sich kein Kohlenoxyd.

Künstliche Rubinen. Von Frémy und Feil sind bereits 1877 kleine Rubinkrystalle künstlich hergestellt worden, die indessen lamellenartig und zerbrechlich und überdies in eine glasige Muttersubstanz fast untrennbar eingebettet waren. Vor kurzem nun (27. Februar 1888) haben Frémy und Verneuil der Pariser Akademie schön ausgebildete Rubinkrystalle vorgelegt, die nach einem vervollkommneten Verfahren gewonnen sind, indem



Thonerde mit Spuren von Kaliumbichromat bei Rotglut der Einwirkung von Fluorüren, namentlich von Baryumfluorür ausgesetzt wurde. Die Krystalle scheiden sich in einer porösen und zerbrechlichen Grundmasse aus, von welcher sie leicht durch Zerkleinern und Schlämmen getrennt werden können. Die erhaltenen Krystalle von rhomboëdrischer Form erreichten eine Grösse bis zu 0,6 mm; die Analyse erwies, dass sie aus reiner, nur durch Spuren von Chrom gefärbter Thonerde bestehen. Sie sind völlig durchsichtig und von diamantartigem Glanz, haben die Härte der natürlichen Rubinen und werden wie diese beim Erhitzen schwarz, beim Abkühlen wieder rot. Da die vorgelegten Krystalle nur bei Anwendung kleiner Mengen Substanz und in wenigen Stunden gewonnen wurden, so hoffen dieselben Forscher mit grösseren Massen und bei hinreichend lange wirkender constanter Temperatur Rubinen von grösserem Umfange zu erhalten. (*La Nature 1888, No. 771.*)

Die neuen chemischen Elemente. In der vor etwa zwanzig Jahren durch Lothar Meyer und Mendelejeff eingeführten Anordnung der Elemente nach steigendem Atomgewicht ergaben sich viele Lücken, aus deren Stellung im Systeme die wichtigsten Eigenschaften für einige der zur Zeit unbekannten Elemente erschlossen werden konnten. Von diesen — durch Mendelejeff 1871 teilweise im voraus angekündigten — noch fehlenden Grundstoffen sind seither folgende zu genauerer Kenntnis gelangt:

	Gallium *Ga*, weisses, hartes Metall.	Scandium *Sc*, nur in Verbindungen bekannt.	Ytterbium *Yb*, nur in Verbindungen bekannt.	Germanium *Ge*, grauweisses Metall.
Vorausgesagt als	Ekaaluminium	Ekabor	—	Ekasilicium
Entdecker	Lecoq de Boisbaudran 1875	Nilson 1878	Marignac 1878	Cl. Winkler 1886
Vorkommen	in gewissen Zinkblenden	im Gadolinit und Euxenit	im Gadolinit	im Argyrodit
Atomgewicht und Wertigkeit	69,9 — III	44,03 — III	173,01 — III	72,32 — IV
Specifisches Gewicht	5,9	—	—	5,5
Schmelzpunkt	29,5° C.	—	—	etwa 900° C.

Weniger genau sind die Untersuchungen über das Thulium *Tm*, von P. T. Cleve 1880 im Erbin als dreiwertiges Element mit dem Atomgewicht 170,7 aufgefunden, sowie über zwei im Samarskit vorkommende Grundstoffe: Decipium *Dp* (Delafontaine 1878, Äquivalentgewicht 130) und Y_α (Marignac 1880, von Lecoq Gadolinin genannt, Äquivalentgewicht 120,5). — Das Samarium *Sm* und das Holmium *Ho* — ersteres 1879 von Lecoq de Boisbaudran, letzteres 1880 von P. T. Cleve angekündigt — sind wahrscheinlich keine Elemente, sondern Gemische. — Noch streitig ist die Existenz folgender Grundstoffe: Philippium (Delafontaine 1878), Norwegium (Tellef Dahll 1879), ferner Praseodidym und Neodidym, letztere beide von Auer v. Welsbach 1885 durch Zerlegung des Didyms erhalten. — Völlig ungenau sind die Berichte über das Mosandrium (J. L. Smith 1878, Äquivalentgewicht 139,5), Actinium (Phipson 1882), Idunium (Websky 1884), Austrium (Linnemann 1886, wohl mit *Ga* identisch) und Dysposium (Lecoq de Boisbaudran 1887). *J. Sch.*



3. Geschichte.

J. W. Ritter und das Volta'sche Spannungsgesetz. In der *Elektrot. Z. IX, 36, 1888* teilt Edm. Hoppe die historischen Thatsachen mit, welche den Jenenser Johann W. Ritter als einen Vorläufer Volta's erscheinen lassen. Ritter lehrte schon 1798, dass bei der Berührung zweier Körper eine nach einer bestimmten Richtung wirkende „Aktion" stattfinde und dass die Grösse der wirklichen Thätigkeit einer galvanischen Kette gleich der Differenz zwischen der Grössensumme der nach einer Richtung und der nach der entgegengesetzten Richtung bestimmten Aktionen, die Richtung der Thätigkeit aber die der grösseren der beiden Summen sei. Diese Lehre ist zwei Jahre vor der Erfindung der Volta'schen Säule aufgestellt. Ritter war denn auch der erste, der die doppelten Erdplatten an der Säule (1801) beseitigte; er gab bei diesen Anlass eine Auseinandersetzung, die das Volta'sche Spannungsgesetz unverkennbar antizipiert. In einer aus Zink-Wasser-Silber-Elementen gebildeten Säule, die durch Golddrähte in Wasser geschlossen wird, kommen nach seiner Darstellung nur die Aktionen von Silber/Zink zur Wirkung. Er betrachtet nämlich in der Reihe $W.G.Z.W.S.Z.W.S.G.W$ als Bestimmungsgründe für den Strom die Metallpaare GZ, SZ und SG. Von diesen seien GZ und SZ gleichliegende Bestimmungsgründe, da in beiden Z den Oxygenpol darstelle. Dagegen liege SG diesen beiden entgegengesetzt, da hier S der Oxygenpol sei. GZ bestehe aber aus $SZ + GS$, GS werde durch SG gerade aufgehoben, folglich bleiben genau $2SZ$ als Wirkungsgrund der Batterie übrig. Ritter hatte somit, wesentlich aus den chemischen Vorgängen in der Kette, ein Verhalten gemutmaasst, das durch Volta's elektroskopische Messungen glänzend bestätigt wurde. Damit im Zusammenhange steht, dass Ritter das erste sekundäre Element construierte, und dass er zuerst Ketten aus einem Metalle und zwei Flüssigkeiten (z. B. Kalilösung-Metall-Wasser) herstellte.

Auch in Bezug auf die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule hat Ritter die Priorität. Nachdem A. v. Humboldt die Zersetzung des Wassers, ebenfalls vor Erfindung der Volta'schen Säule, beobachtet und beschrieben hatte *(Üb. d. gereizte Muskel- und Nervenfaser I, 472; 1797)*, führte Ritter die von diesem angestellten Versuche weiter, erkannte den Zusammenhang zwischen der elektrischen Erregung und der chemischen Wirkung und stellte zuerst mit der Volta'schen Säule Wasserstoff und Sauerstoff getrennt dar *(Beitr. z. näheren Kenntn. d. Galv. I, 111—284; 1800)*; er führte auch zuerst die Synthese des Wassers durch den elektrischen Funken aus, zersetzte Metalllösungen und fand gelegentlich der Gold- und Silber-Fällung, dass man auf diesem Wege das Metall am reinsten erhalte.

Zur Metallurgie des Goldes bei den Alten. Um kleine Teilchen edler Metalle von losen Gesteinen zu scheiden, dient gegenwärtig als vollkommenstes Hilfsmittel die Amalgamation. Dass diese schon im 3. Jahrhundert n. Chr. bekannt war, geht aus den zu jener Zeit von Zosimus verfassten Schriften hervor, welche Berthelot in seiner so dankeswerten „Collection des alchimistes grecs" kürzlich zum ersten Male veröffentlicht und übersetzt hat. (Vgl. auch Berthelot, ‚traitement des sables aurifères par amalgamation chez les anciens', *C. R. CVI. No. 13*). — Der bis in die Neuzeit hinein die höchste Autorität geniessende Alchemist giebt das Verfahren etwa in folgender Weise an: Die Erde von den Ufern des goldführenden ägyptischen Flusses ist zu kneten und zu erhitzen, alsdann in irdenen Gefässen mit Quecksilber und Wasser zu behandeln; schliesslich soll die durch Pressen gereinigte Masse einer Art Destillation unterworfen werden, wobei der Deckel des Gefässes durch einen Schwamm mit Wasser zu kühlen ist. „Nach dem Erhitzen", sagt Zosimus, „wirst du du das, was du suchst, [nämlich das Gold] finden." — Die Werke des Zosimus enthalten neben theoretischen Abhandlungen über die Metallverwandelung noch andere thatsächliche chemische Recepte, sowie Beschreibungen von Instrumenten. *J. Sch.*



4. *Unterricht und Methode.*

Über physikalische Lehrbücher. Anknüpfend an ein weitverbreitetes Lehrbuch unterzieht A. Höfler in einem Aufsatze ‚zur Methodik des Unterrichtes in der Physik' *(Ztschr. f. d. österr. Gymn. 1887, H. 12, 893—913)* eine Reihe von Übelständen in der bisherigen Unterrichts- und Lehrbuch-Verfassung einer besonnenen Kritik. Vom Gesichtspunkte der Logik aus erscheint vieles Einzelne der Besserung bedürftig; wichtiger noch ist, dass gewisse Unzukömmlichkeiten allgemeinen Charakters als solche bezeichnet werden. Die sogenannte Einleitung „über die allgemeinen Eigenschaften der Körper" wird als dem eigentlichen Zwecke einer wissenschaftlich und didaktisch angemessenen Einführung des Anfängers in die Physik geradezu zuwiderlaufend erklärt. Statt dessen würden kurzgefasste Aufklärungen über Gegenstand, Aufgabe und Methode der Physik am Platze sein, wobei es vor allem darauf ankäme ‚es dem Schüler recht deutlich und überzeugend fühlbar zu machen, dass und warum die unwissenschaftliche Naturbetrachtung einer Vervollkommnung durch eine besondere Wissenschaft bedürfe, und in welchen Beziehungen (namentlich allen quantitativen) diese vervollständigend und präcisierend eingreifen müsse'. Hieran würde sich ein Rundblick über die Fülle und Verschiedenartigkeit der physikalischen Erscheinungen anschliessen, worauf sogleich die systematische Behandlung der Mechanik zu folgen hätte. — Ein anderer Fehler besteht darin, dass die mechanischen Theorieen an die Spitze gestellt werden, ehe noch die Thatsachen und Gesetze dargelegt sind, zu deren Erklärung jene Theorieen ausgearbeitet worden sind. Dies führt dann zu Verkehrtheiten wie die, dass der Satz von der Äquivalenz zwischen Wärme und Arbeit als wichtigstes ‚Ergebnis' der mechanischen Wärmetheorie bezeichnet wird, oder dass die Keppler'schen Gesetze entgegen dem logischen und historischen Wege nur als Ableitungen aus den Gesetzen der Centralbewegung erscheinen (statt dass umgekehrt das Newton'sche Gesetz aus ihnen hergeleitet und die vorher bezeichnete Deduktion als Übung an zweiter Stelle herbeigezogen wird); man denke ferner an ein Dogma wie ‚Alle Erscheinungen in der Physik sind Bewegungserscheinungen' auf S. 2 eines Lehrbuches, oder an den Unfug, der mit dem Energie-Princip getrieben wird. — Überzeugt von der ‚Unersetzlichkeit naturwissenschaftlicher Bildungselemente gerade für das höchste humanistische Bildungsideal', weist Höfler am Schluss zusammenfassend auf die Reformbedürftigkeit des Unterrichts wie der Lehrbücher hin: ‚Noch immer tritt nur zu häufig die Tendenz des Lehrbuches, eine möglichst ausgiebige Fülle von Einzelheiten in den Schüler hineinzustopfen, den unvergleichlich höher zu stellenden Bemühungen der Schule, zu logischer Beherrschung des Stoffes und zum Verständnis der Methoden einer empirischen Wissenschaft überhaupt anzuleiten, hemmend in den Weg'. *P.*

Zur elementaren Herleitung der Pendelgleichung. Eine Darlegung von A. Schmitz (Neuburg a. D.) in den *Bl. f. d. Bayer. Gymn.-Schulw. XXIII, 502 (1887)* knüpft an einen ebenda (1877) von Heel gegebenen Gedankengang an, dessen Hauptpunkte folgende sind. 1.) Bei kleinem Ausschlagswinkel α ist $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha$, daher die Beschleunigung eines und desselben Pendels bei doppeltem α verdoppelt, daher die Schwingungszeit die gleiche. 2.) Für zwei Pendel von den Längen l_1, l_2 mit gleichem Ausschlagswinkel α lässt sich durch Zerlegung in correspondierende Bogenstücke und unter Anwendung der Gesetze der schiefen Ebene zeigen, dass $\sqrt{l_1} : \sqrt{l_2} = t_1 : t_2$. 3.) Für zwei gleichlange Pendel, die verschiedenen Schwerkräften g_1, g_2 unterworfen sind, findet man ähnlich $t_1 : t_2 = \sqrt{1/g_1} : \sqrt{1/g_2}$. 4.) Aus den beiden letzten Gleichungen folgt endlich für zwei Pendel von verschiedener Länge und bei verschiedenen Schwerkräften $t_1 : t_2 = \sqrt{l_1/g_1} : \sqrt{l_2/g_2}$ und daraus

$$t_1 = c\sqrt{\frac{l_1}{g_1}},$$

worin c sich bestimmen lässt als $c = t$, wenn $l_1 = 1$ und $g_1 = 1$ gesetzt wird. Zur Berechnung von c zerlegt der Verf. α in n gleiche Teilwinkel δ, bestimmt für jedes der

zugehörigen Bogenstücke die mittlere Geschwindigkeit und daraus die Zeit des Durchlaufenwerdens, und summiert, um $t = c$ zu finden, die gefundenen Werte für die Einzelzeiten. Nach einigen Umformungen ergiebt sich ein Ausdruck von folgender Gestalt:

$$\frac{1}{2} c = n - 2 \sum_{q=1}^{q=n-1} \frac{\sqrt{n^2 - q^2}}{4 q^2 - 1}.$$

Diese Reihe liefert z. B. für $n = 8$ den Wert $c = 1{,}5864$, während $\pi/2 = 1{,}5708$ ist. Das Verfahren, das als mathematische Übung interessant sein mag, dürfte indessen kaum als Ersatz für eine prinzipiellere Herleitung der Pendelgleichung in Betracht kommen, da diese Gleichung zu fundamental ist, als dass man sich mit einer so näherungsweisen Bestimmung der Constanten $\pi/2$ begnügen könnte. Die klassischen Überlegungen von Galilei und Huygens (über die Gleichheit der Endgeschwindigkeiten bei beliebig geneigter Bahn und über den Zusammenhang der gleichförmigen Kreisbewegung mit der harmonischen Bewegung auf dem Durchmesser) sind zudem so einfach, dass kein Grund vorliegt, sie durch andere, weniger einfache und weniger exakte zu ersetzen. *P.*

---

5. Technik und mechanische Praxis.

Neue Form des Bunsen-Elements. Das Bunsen-Element hat in seiner gebräuchlichen Form den Übelstand, dass die an der Kohle befindliche Messingklemme bald von der Säure angegriffen wird. Zunächst zu praktischen Zwecken (Elektrolyse) ist daher die folgende Anordnung getroffen worden, durch welche die Instandhaltung des Elements erheblich erleichtert wird. Der prismatische Kohlenstab ist von kreuzförmigem Querschnitt, 50 cm hoch und 9 cm in den beiden grössten Durchmessern breit, dies Kohlenprisma hat an seinem oberen Ende senkrecht zur Stirnfläche eine Bohrung von 3 cm Tiefe und 1,5 cm Weite, in welcher ein Ebonitrohr von 15 cm Länge und etwas enger als die Bohrung steckt. Dieses Ebonitrohr enthält einen, mit Paraffin eingegossenen 5 mm dicken Kupferstab, dessen unteres Ende einen 6—8 mm breiten 4 cm langen Platinblechstreifen angelötet trägt; der Kupferdraht reicht nur bis etwa 1 cm vom unteren Ende der Röhre, der überstehende Platinstreifen wird an der Aussenwand der Röhre in die Höhe gebogen, so dass er zwischen die Röhre und die innere Wand der Bohrung zu liegen kommt. Die Befestigung in der Bohrung geschieht dadurch, dass ein Ebonitkeil zwischen Röhrenwand und Platinstreifen getrieben wird. — Der zugehörige Zinkcylinder hat 45 cm Höhe und 16 cm inneren Durchmesser, er ist an der Aussenseite getheert und trägt einen (auch 5 mm dicken) Kupferdraht, welcher wie der von der Kohle ausgehende zweckmässig zweimal rechtwinklig gebogen ist, so dass die nach unten gerichteten und verquickten Enden in zwei fest angebrachte Quecksilbernäpfchen eingesenkt werden können. Es ist vorteilhaft, die zu verquickenden Enden erst gut zu versilbern, weil das Silberamalgam an der Luft weniger leicht oxydiert. Auf das Thondiaphragma kann zum Schutz vor Säuredämpfen eine durchbohrte Glasplatte gelegt werden. Als Füllung wird für Kohle 36 procentige Salpetersäure mit $^1/_3$ Vol. conc. englische Schwefelsäure, für Zink Wasser mit 1—3% Schwefelsäure und etwas Quecksilbersulfat empfohlen. Ein solches Element giebt anfänglich 6 Ampère Stromstärke bei 1,8 Volt; nach vierwöchentlichem Gebrauch bei täglich zehn Stunden ununterbrochener Arbeitsdauer arbeitet es noch mit 2 Ampère, wenn man es jeden Abend in der Weise auseinandernimmt, dass man den Zinkcylinder auf einen Holzrost, die Kohle mit dem Diaphragma und der Säure in ein geeignetes Steingutgefäss stellt. Beim technischen Gebrauch lieferte dieses Element unter normalen Badverhältnissen eine stündliche Niederschlagsmenge von durchschnittlich 12—16 g Silber, nach vierwöchentlichem Gebrauch noch 5 g in der Stunde. (Aus den *Bayr. Ind.- u. Gew.-Bl.*, nach *Centralz, f. Mech. u. Optik, IX., 33.*)



Neu erschienene Bücher und Schriften.

Einführung in das Physikalische Praktikum von R. T. Glazebrook und W. N. Shaw. In deutscher Übersetzung herausgegeben von W. Schloesser. Mit 86 Figuren. Leipzig, Quandt u. Haendel, 1888, XV u. 462 S. M. 7,50.

Das Buch soll dem Anfänger eine Anleitung geben, sich mit den Methoden des physikalischen Experimentierens vertraut zu machen. Die Verfasser haben die gestellte Aufgabe mit grossem Geschick gelöst, indem sie aus allen Gebieten der experimentellen Physik die grundlegenden Versuche ausgewählt und gleichzeitig durch eingeschobene theoretische Betrachtungen dafür Sorge getragen haben, den Anfänger für die Anstellung schwierigerer Untersuchungen vorzubereiten und ihn in die feineren Methoden der messenden Versuche einzuführen. Besonders hervorzuheben ist noch der Umstand, dass die Versuche sich mit einfachen Hilfsmitteln anstellen lassen und auch in kleineren Laboratorien mit Erfolg vorgenommen werden können.

Nach einer Einleitung über die physikalischen Messmethoden wird mit besonderer Sorgfalt das absolute Maass-System behandelt. Gerade dieses Kapitel, welches in den meisten Büchern nur anhangsweise abgethan wird, ist hier mit einer vorzüglichen Klarheit und Einfachheit dargestellt, so dass der Anfänger mit Leichtigkeit mit den naturgemässen Quellen der verschiedenen Einheiten der physikalischen Grössen vertraut gemacht wird und sich die betreffende Umsetzung der experimentellen Thatsachen in Zahlenverhältnisse aneignet. Das nächste Kapitel bespricht die elementaren Methoden des physikalischen Rechnens, die bei den Versuchen erreichbare Genauigkeit, Correktionen, Beobachtungsfehler etc. Hieran schliessen sich Übungen in der Messung einfacher Grössen, wie Längenmessungen mittels des Tastzirkels, Sphärometers, Kathetometers, Messungen von Maassen und Bestimmungen specifischer Gewichte, wobei alle wichtigen Vorübungen an der Wage eingehend behandelt werden. Der folgende Abschnitt führt eine Reihe praktischer Übungen aus dem Gebiete der Mechanik fester, flüssiger und gasförmiger Körper vor. In dem Kapitel Akustik findet man die wichtigsten Versuche über die Schwingungszahl, Geschwindigkeit des Schalles, Wellenlängen etc., insoweit sich dieselben mit elementaren Hilfsmitteln ausführen lassen. Darauf folgen Übungen aus der Wärmelehre, wie der Thermometrie, Kalorimetrie, Dampfspannung und Hygrometrie. Die Optik enthält die wichtigsten photometrischen Übungen, Messung der Brennweiten der Spiegel und Linsen, Bestimmung der Vergrösserung optischer Instrumente, Spektroskop, Spektrometer, einige Versuche aus der Polarisation des Lichtes und der Farbenempfindung. Die letzten Kapitel beschäftigen sich mit Übungen aus dem Gebiete des Magnetismus und der Elektricität, wobei namentlich die Fundamentalmethoden der praktischen Messung von Stromstärke, Widerstand, elektromotorischer Kraft etc. berücksichtigt sind. — Dem Lehrer der Physik kann das Buch als guter Ratgeber willkommen sein, indem es eine Reihe von Aufgaben und Versuchsanordnungen enthält, die sich im physikalischen Unterrichte wohl verwerten lassen. *P. Szymanski.*

Leitfaden für den wissenschaftlichen Unterricht in den Anfangsgründen der Chemie. Von W. Casselmann, für Gymnasien, Realschulen und zum Selbstunterrichte. 5. Auflage, bearbeitet von Georg Krebs. Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1887. Teil I, XV u. 139 S. M. 2,40. Teil II, XV u. 137 S. M. 2.

Die auch in der neuen Auflage beibehaltene Eigentümlichkeit dieses Lehrbuches besteht in der Verteilung des Unterrichtsstoffes auf zwei (auch äusserlich getrennte) Kurse derart, dass bereits der erste für die Obersekunda bestimmte Teil nahezu sämtliche Elemente behandelt, welche im Unterrichte überhaupt betrachtet werden, und der zweite eine Wiederholung und möglichst umfassende Ergänzung des ersten bildet. Erst im zweiten Kursus wird die Ableitung der Atomgewichte aus den Dampfdichten vergasbarer Verbindungen und aus der Atomwärme gegeben, während im ersten nur die stöchiometrischen Gesetze angeführt und die Atomgewichte ohne weitere Erörterung zusammengestellt werden.



Ferner sind im zweiten Kursus auch einzelne Teile der physikalischen Chemie, wie die Dissociation, die Grundsätze der Thermochemie und die Berechnung der Flammentemperatur aus der Verbrennungswärme berücksichtigt. Ein Anhang enthält eine Anleitung zur qualitativen Analyse, die sich allerdings nur auf den Nachweis je eines Metalles und einer Säure in einer Verbindung beschränkt und die eigentliche Trennung der Elemente unberücksichtigt lässt. Die erwähnte Teilung des Stoffes hat ohne Zweifel bedeutende Vorzüge. Sie zwingt zu der im naturwissenschaftlichen Unterrichte leider nur zu oft vernachlässigten Wiederholung der vorhergegangenen Pensen und befestigt die früher erworbenen Eindrücke in trefflichster Weise dadurch, dass die dort gebotenen Anschauungen dem gereifteren Schüler grösstenteils noch einmal vorgeführt werden. Was die Verteilung im einzelnen betrifft, so ist vielleicht der erste Kursus im Vergleich zu dem zweiten zu umfangreich, und manches (z. B. die kurze Betrachtung des Cyans im Anschluss an die Halogene und vor Behandlung von C und N) bliebe besser der späteren Stufe vorbehalten. — Die Sprache ist durchweg klar, der Ausdruck knapp und präcis. Von Ungenauigkeiten, die dem Referenten aufgefallen sind, mögen nur die folgenden erwähnt werden. Mit Flamme verbrennen Körper, welche gasförmig sind oder gasförmige Zersetzungsprodukte liefern. Auf den Aggregatzustand der Verbrennungsprodukte kommt es hierbei nicht an (I, 38 und I, 83). — Schwefelkies zersetzt sich nur bei Luftabschluss in der I, 53 angegebenen Weise. Es fehlt die wichtige Angabe, dass die Röhre, in welcher die Erhitzung stattfindet, einseitig verschlossen sein muss. — Das Schwefelgas ist nicht gelb, sondern dunkelbraun (I, 53). — Ob die unterschweflige Säure wirklich VI-wertigen Schwefel enthält, also ein Abkömmling der Schwefelsäure ist (I, 57 und Strukturformel II, 45), ist doch noch sehr zweifelhaft. — NH_3 vereinigt sich mit $Ca\,Cl_2$, wird aber nicht unter Zersetzung absorbiert (I, 63). — $As\,H_3$ entsteht nicht allgemein durch Einwirkung von nascierendem Wasserstoff auf eine Arsenverbindung (I, 71). Aus $As_2\,S_3$ erhält man z. B. unter diesen Umständen nicht $As\,H_3$. — Zur Darstellung von KOH verwendet man gelöschten, nicht gebrannten Kalk (I, 90); dasselbe gilt für $Na\,OH$ (I, 93). — Blei- und Zinkweiss sind nicht die neutralen Carbonate (I, 98), ebensowenig das durch Fällung entstehende Magnesiumcarbonat, *M. alba* (I, 100). — Der Druckfehler (II, 31) zweifach saures salpetersaures Blei anstatt zweifach basisches s. B. ist sehr störend. — Schwefel brennt im N_2O weiter, wenn er genügend stark erhitzt war (II, 51). — Von einer Legierung des Siliciums mit Magnesium kann man wohl nicht gut sprechen (II, 71). Auf derselben Seite steht Natriumwassergas statt -wasserglas. — Ein Natriumaluminiumfluorid von der II, 91 angegebenen Formel existiert nicht. S. 93 steht die richtige Formel. *H. Böttger.*

Methodischer Leitfaden der unorganischen Chemie. Induktive Einführung in das Verständnis chemischer Vorgänge unter Berücksichtigung der Thermochemie. Für höhere Lehranstalten. Von L. Knöpfel. Oppenheim, Wilh. Traumüller, 1888. VII und 99 S. M. 1,20.

Das Hauptgewicht dieses Leitfadens liegt in der chemischen, besonders in der thermochemischen Theorie. Die Einführung in dieselbe wird auf induktivem Wege versucht, indem nach Angabe von Experimenten — die freilich wie die kalorimetrischen und Dissociationsversuche wohl kaum im Schulunterrichte ausführbar sind und daher leicht zu dogmatischem Vortrage verführen können — allgemeine Ergebnisse und Gesetze ausgesprochen werden. Der Gang ist rasch fortschreitend; schon auf S. 8 findet sich in folgender Form der thermochemische Grundsatz: „Die Bildungswärmen der Verbindungen sind ein allerdings noch nicht genau ermitteltes Maass für die chemische Anziehung der Elemente.“ Ob dieser nur unter vielfacher Einschränkung geltende Satz zu einem Fundamente im Unterricht geeignet sei, bleibe dahingestellt. — Die Atomlehre wird erst bedeutend später begonnen, die Darstellung derselben ist knapp und genau; jedoch ist zu wenig betont, dass, wie die Verbindungen, auch die Elemente aus Molekeln bestehen. — Was die chemischen Thatsachen betrifft, so sind nur die wichtigsten Stoffe behandelt. Der übliche Gang, die



Elemente zusammen mit ihren Verbindungen zu betrachten, ist nicht befolgt; vielmehr werden zuerst die binären Verbindungen, dann Basen, Säuren und Salze, dazwischen die Grundstoffe selbst, sowie in besonderen Abschnitten die allgemeinen Reaktionen besprochen. Die Individualität der chemischen Körper leidet bei diesem Verfahren; so sind die physikalischen Eigenschaften des Schwefels auf Seite 3, seine Verbrennung auf Seite 17, seine Verbindung mit Wasserstoff auf Seite 26 angegeben u. s. f. — Desgleichen ist es zwar theoretisch statthaft, aber für die Schule nicht empfehlenswert, den Schwefelwasserstoff und das Wasser unter den Säuren und demgemäss die Metall-Sulfide und Hydroxyde unter den Salzen aufzuführen (S. 60). Hieraus ergeben sich Schwierigkeiten für den ersten Zweck des chemischen Unterrichts, die „Bekanntschaft mit den wichtigeren Elementen und ihren Verbindungen." — Schliesslich sei noch die grosse Zahl guter historischer Notizen hervorgehoben; sie machen im Verein mit dem theoretischen Material das Buch für den Lehrer der Chemie, vielleicht auch für fortgeschrittnere Schüler, zu einer anregenden Lektüre. *J. Schiff.*

Einfachere gewichtsanalytische Übungsaufgaben in besonderer Anordnung nebst Einleitung als Vorwort: Einiges über Unterricht in chemischen Laboratorien. Von Dr. F. Muck. Mit 17 Textabbildungen. Breslau, Eduard Trewendt, 1887. 69 S. M. 2,40.

Die vorliegende Schrift geht von dem neuerdings vielfach verteidigten Grundsatze aus, dass der praktisch-chemische Unterricht nicht mit der qualitativen, sondern mit der quantitativen Analyse beginnen müsse, da auf diesem Wege am sichersten exaktes Arbeiten zu erreichen sei. Dementsprechend enthält es 13 einfache Beispiele zur Gewichtsanalyse, deren Ausführung genau und verständlich beschrieben ist. Als Ausgang dienen Metalle (*Cu*, *Pb*, *Co*, *Ni*) oder wichtige Verbindungen ($NaCl$, K_2SO_4, As_2O_5 u. s. w.). — Statt des Mangans und Kobalts hätten vielleicht Elemente, die dem Anfänger noch näher liegen, wie Zinn und Zink, gewählt werden können. Das Atomgewicht des Urans ist nach der Stellung desselben im periodischen Systeme besser zu verdoppeln (also $Ur = 240$ zu setzen); selbstverständlich müsste das Uranarseniat alsdann statt $Ur_4As_2O_{11}$, wie Verfasser schreibt, $Ur_2As_2O_{11}$ formuliert werden. — Das Werkchen, welches von reicher Erfahrung in der Laboratoriumspraxis zeugt, ist für den Unterricht an Fachschulen zu empfehlen. *J. Schiff.*

Elektrische Apparate, Maschinen und Einrichtungen. Von W. E. Fein. Stuttgart, J. Hoffmann, 1888. XII und 392 S.

Das Werk enthält eine Sammlung von Beschreibungen, die zum Gebrauch für Techniker, sowie zu Lehrzwecken und zum Selbstunterricht bestimmt ist. Die Apparate sind sämtlich aus den Werkstätten des Verfassers hervorgegangen; unter ihnen sind, als für den Schulgebrauch geeignet, besonders die Dynamo-Maschinen und ein zu ihnen construierter Elektromotor, elektrische Lampen, Akkumulatoren und Wasservoltameter zu nennen. *P.*

Anweisung für den elektrischen Lichtbetrieb. Für Inhaber elektrischer Beleuchtungsanlagen zusammengestellt von Dr. Oscar May. Leipzig, F. W. Biedermann, 1888. 16°. 57 S.

Programme. Ostern 1888.

Zur Theorie des Segelns. Von E. Gerlach. Pr. Nr. 99, Luisenstädtische Oberrealschule, Berlin. (Mit 1 Tafel).

Über elektrische Induktion. Von A. Hempel. Pr. Nr. 98, Friedrichs-Werdersche Oberrealschule, Berlin. (Mit 7 Holzschnitten).

Stuart Mills Zahlbegriff. Von C. Th. Michaëlis. Charlotten-Schule, Berlin.

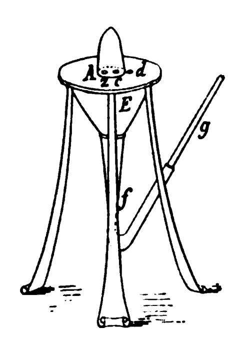
Elementare Darstellung der Mondbahn. Von H. Thurein. Pr. Nr. 94, Dorotheenstädtisches Real-Gymnasium, Berlin.

Tonstärke-Messung. Von E. Grimsehl. Realgymnasium des Johanneums, Hamburg. (Mit 4 Tafeln).

Versammlungen und Vereine.

Über die historische Entwicklung der Quecksilber-Luftpumpen. Vortrag von Silv. P. Thompson in der Society of Arts, London, November 1887. *(Journ. Soc. of Arts, 25. Dez. 1887.)*

Die Erfindung der Quecksilber-Luftpumpen geht auf den Torricelli'schen Versuch (1643) zurück, dessen Zweck die Herstellung eines Vakuums mit Hülfe einer Quecksilbersäule war. Der Vortragende unterschied sechs Klassen solcher Pumpen. Die erste Klasse gründet sich darauf, dass die Luft durch die obere Öffnung eines Barometerrohrs hinausgetrieben wird. Hierzu gehört die älteste eigentlich so zu nennende Quecksilber-Luftpumpe, die von Swedenborg erfunden und 1722 in den *Miscellanea observata circa res naturales* veröffentlicht worden ist. Sie bestand aus einem Tisch mit drei Füssen, in dessen Fläche eine Metallplatte *(A)* als Basis für den Recipienten eingelassen war. Die Platte hatte zwei Durchbohrungen, von denen die eine *(z)*, mit einem Hahn versehen, zum Wiedereinlassen von Luft nach Beendigung des Versuches bestimmt war[1]), während die andere *(c)* durch ein nach unten sich öffnendes Klappenventil mit einem konischen Eisengefäss *(E)* in Verbindung stand; ein nach oben sich öffnendes Ventil *(d)* dagegen führte aus diesem Gefäss in die äussere Luft. Das Gefäss endigte unten in ein biegsames Lederrohr *(f)*, an dieses wieder war ein eisernes Rohr *(g)* mit offenem Mundstück angesetzt, welches gehoben und gesenkt werden konnte. Das Mundstück wurde voll Quecksilber gegossen und soweit gehoben, dass das konische Gefäss sich ganz mit Quecksilber füllte, während die Luft durch das nach aussen sich öffnende Ventil *d* entwich. Wurde nunmehr das Mundstück gesenkt, so sank auch das Quecksilber im Gefäss und die Luft strömte aus dem Recipienten nach. Man erkennt, dass der Apparat bereits alle wesentlichen Bestandteile der Geissler'schen Pumpe enthält. Sechzig Jahre später (1784) wurden von J. Baader Hähne statt der Ventile angewendet. Hindenburg fügte (1787) eine kleine Handluftpumpe hinzu, durch welche das Heben und Senken des Quecksilbers bewirkt wurde; ähnlich war die Pumpe von Edelcrantz (1804) eingerichtet, und Kemp (Edinburg) benutzte dasselbe Prinzip (1830) bei einer doppelt wirkenden Pumpe. Von den zahlreichen neueren Formen dieser Klasse ist die wichtigste die von H. Geissler in Bonn (1855), welche den meisten jetzigen Pumpen zur Herstellung von Glühlampen zu Grunde liegt. Ihr ähnlich sind die Pumpen von Joule, Mitscherlich, Alb. Geissler, Lane-Fox. Robinson bemerkte 1864, dass die Pumpe sich verkürzen lasse, wenn man die Luft über dem Quecksilber im Gefäss teilweise mechanisch auspumpe; dieses Hilfsmittel wird fast allgemein bei den heut gebrauchten Pumpen benutzt. Endlich beschrieb Schuller (1881) ein sehr sinnreiches Klappenventil; die Röhre, die nach dem Pumpenkopf führt, ist mit einem konisch bis auf 3 mm verengten Einsatzstück versehen, so dass das Quecksilber bei der Aufwärtsbewegung leicht durch die Öffnung hindurchtritt, bei der Rückwärtsbewegung aber einige Tropfen hängen lässt, die einen vollkommenen Verschluss der Öffnung nach oben hin herstellen.



Die zweite Klasse umfasst solche Pumpen, bei denen die Luft durch die untere Öffnung des Barometerrohres hinausgetrieben wird; die Grundform dieser Klasse ist Sprengel's Pumpe, die 1865 erfunden wurde und seitdem erhebliche Verbesserungen durch Crookes, Gimingham u. a. erfahren hat; in der ältesten Gestalt bestand sie aus einem langen und engen Fallrohr, an welches oben ein Trichter mittels eines kurzen Kautschuckschlauchs angesetzt war, während das untere Ende in ein Gefäss mit Quecksilber tauchte. Wenn ein Quetschhahn unterhalb des Trichters ein wenig geöffnet wurde, sank das Quecksilber und riss, sich in Tropfen auflösend, wegen des erheblich verminderten Druckes die Luft aus einem von der Seite einmündenden Rohr mit sich nach unten. Offenbar muss bei dieser Einrichtung die Höhe der Quecksilbersäule im Fallrohr nahe an 76 cm sein, wenn ein vollständiges Vakuum erzeugt werden soll; Stearn, mit der Fabrikation der Swan-Lampen beschäftigt, ermöglichte (1877) eine Verkürzung des Fallrohrs durch Herstellung eines partiellen Vakuums im unteren Teil des Rohres, was als eine praktisch sehr wertvolle Erfindung bezeichnet wird; als die vielleicht vollkommenste Maschine dieser Art wird diejenige genannt, welche von W. F. Nicol 1885 in Manchester ausgestellt war. Eine Methode zum Betrieb dieser Pumpen bei höherer Temperatur ist von Prof. Rood in Amerika angegeben worden, der auch eine Biegung am Fallrohr anbrachte und Verdünnungen bis zu $^1/_{300}$ Millionstel einer

[1]) In der obigen nach Thompson reproduzierten Figur mündet die Durchbohrung *z* irrigerweise in das Gefäss *E*, während im Original die untere Mündung von *z* ausserhalb dieses Gefässes liegt.



Atmosphäre erzielt haben will. Der Verdünnungsgrad wird hierbei mit Hülfe des Macleod'schen Manometers (erfunden 1874) bestimmt, welches auf dem Prinzip beruht, dass ein bekanntes Volum der verdünnten Luft auf einen kleineren Raum comprimiert und dann gemessen wird.

Die dritte Kategorie umfasst solche Pumpen, bei denen die Luft zum oberen Ende eines Barometerrohrs und gleichzeitig zum unteren Ende eines andern hinausgetrieben wird. Dies ist das Prinzip von Toepler's Pumpe (1862), von welcher eine Vorläuferin („ohne Cylinder, ohne Ventile und ohne Hähne“) schon 1828 von Mile in Warschau beschrieben worden ist. In Toepler's Pumpe wird durch Senken eines communizierenden Reservoirs das Quecksilber in einem Barometerrohr zum Sinken gebracht, und die Luft aus dem Rezipienten dringt nach; beim darauf folgenden Heben des Rezipienten steigt das Quecksilber wieder in die Höhe, verschliesst zunächst die Öffnung des zum Rezipienten führenden Rohres und treibt darauf die vorhandene Luft durch ein zweites, nach unten in einen Quecksilberbehälter eintauchendes Rohr nach aussen. Von den Verbesserungen dieser Form wurden die von Siemens und Halske, von Swinburne, von Neesen, Clerk und Weston genannt, bei denen ein oder auch mehrere Hähne zur Anwendung kommen.

Die vierte Klasse bilden die aus einer Geissler'schen und einer Sprengel'schen combinierten Luftpumpen, bei denen das von der einen erzeugte Vakuum zur Erleichterung der Evakuierung der andern verwendet wird.

Als fünfte Klasse werden die Injektionspumpen von Cavarra und Plateau (1843) bezeichnet. Der Grad der Verdünnung ist hier abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher das Quecksilber durch eine enge Öffnung fliesst.

Als sechste Klasse sind Maschinen mit rein mechanischer Wirkungsart aufgeführt, die aber wenig praktische Verwendung gefunden haben; Pumpen von Wimshurst, Diakonoff, Neveux, Pflüger, Southby. —

W. Crookes machte hierzu noch die Angabe, dass das beste von ihm erhaltene Vakuum einen Druck von $^1/_{100}$ Millionstel einer Atmosphäre gehabt habe. Von anderer Seite wurde die Zuverlässigkeit von Macleod's Manometer bezweifelt, im Hinblick darauf, dass der Dampfdruck des Quecksilbers bei gew. Temperatur 51 Millionstel einer Atmosphäre betrage; doch kann der Einfluss dieser Dämpfe nach S. P. Thompson beseitigt werden, wenn nach einander Jod zur Absorption der Quecksilberdämpfe, Schwefel zur Absorption des Jods und Silberpulver zur Absorption der Schwefeldämpfe verwendet wird. Der Geissler'schen Pumpe wurde vor der Sprengel'schen der Vorzug gegeben, und der Grund der Rood'schen Verbesserung namentlich darin gefunden, dass bei höherer Temperatur das Quecksilber das Glas inniger berühre, während zugleich die Luft weniger am Quecksilber hafte.

Zur Ergänzung der in dem Vortrage gebotenen Übersicht sei bei diesem Anlass auf die verdienstvolle und in mehrfacher Hinsicht vollständigere Zusammenstellung hingewiesen, welche H. Hellmann in dem Schriftchen ‚*Die Quecksilber-Luftpumpe in ihren wichtigsten Formen (Riga 1885)*‘ von den verschiedenen Constructionen und von den Methoden zur Bestimmung des erreichten Verdünnungsgrades gegeben hat. *P.*

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 2. März 1888. Herr E. Gumlich sprach über die Newton'schen Ringe im durchgehenden Lichte und teilte Messungen mit, welche eine Bestätigung der nach Wangerin entwickelten Theorie liefern; die Versuche sind mit Natriumlicht angestellt worden. — Herr A. Sprung berichtete über einen von Herrn Müller-Erzbach übersandten Aufsatz: „die Bestimmung der Durchschnittstemperatur durch das Gewicht von verdampftem Wasser“. Ein kugelförmiges, halb mit Wasser gefülltes Gefäss mit röhrenförmigem Halse ist mit einer grösseren Flasche verbunden, in welcher der entwickelte Wasserdampf durch Schwefelsäure absorbiert wird. Da die Verdampfungsgeschwindigkeit eine Funktion der Temperatur ist, so giebt die Gewichtsabnahme des Gefässes in 24 Stunden ein Maass für die Durchschnittstemperatur. Die Verwendbarkeit der Vorrichtung wird, wie der Vortragende bemerkte, dadurch beeinträchtigt, dass die Verdampfungsmenge keine lineare Funktion der Temperatur ist, und dass daher aus der Menge des verdampften Wassers nicht der wahre Durchschnittswert der Temperatur erhalten wird. — Herr E. Lampe unterzog eine Erwiderung von Häussler (*Rep. d. Ph.* **24**, *60/62*) der Kritik und setzte die Irrtümer des Verfassers auseinander.

Sitzung am 16. März 1888. Herr A. Köpsel zeigte und besprach zwei Energiemesser von Siemens und Halske, welche die Energie auch bei nicht constanter „Spannung“ zu registrieren gestatten. — Herr E. Lampe sprach über die Anwendung einer von Gauss gegebenen Reihenent-



wickelung bei der elementaren Behandlung von mechanischen Aufgaben. — Herr H. v. Helmholtz teilte eine Veranschaulichungsart des Ganges der elliptischen Funktionen erster Gattung durch das Pendel mit. — Derselbe besprach die „magnetische Untersuchung einiger Gase“ durch Toepler und Hennig.

Sitzung am 20. April 1888. Herr H. W. Vogel sprach über das Kohlenstoff-Spectrum unter Vorzeigung stark vergrösserter Photographieen von Spectren des Cyans, der Bunsenschen Flamme, des Kohlenoxyds und des Bogenlichtes. Am vollkommensten entwickelt sind das Cyan- und das mit diesem identische Bogenlicht-Spectrum; die Banden reichen mit sehr vielen Linien vom Roth bis weit ins Ultraviolett. Das Spectrum des Kohlenwasserstoffs ist nur in dem weniger brechbaren Teile mit dem Cyanspectrum identisch, in Blau und Violett ist statt der Banden eine grosse Reihe symmetrischer Doppellinien sichtbar. Das Spectrum des Kohlenoxyds gleicht dem des Cyans nur in dem brechbaren Teile, während in dem weniger brechbaren Teile nur einzelne Linien mit entsprechenden der drei andern Spectren übereinstimmen. Herr Vogel schliesst aus seinen Beobachtungen, dass man zwei Modificationen des Kohlenstoffs annehmen müsse, von denen die eine das Spectrum des Kohlenwasserstoffs, die andere das des Kohlenoxyds giebt, während im Cyanspectrum beide Modificationen vertreten sind. Den dunklen Streifen des Sonnenspectrums, auf welchem die Linie *G* erscheint, schreibt der Vortragende dem Kohlenstoff zu; die schmale Bande findet sich in allen vier Spectren. — Derselbe demonstrierte die auffallenden Erscheinungen, welche bei der Beleuchtung von Farbentafeln mit monochromatischem Lichte wahrgenommen werden (ausführlich sind dieselben in der *Naturwissenschaftlichen Rundschau III No. 15, 1888* beschrieben).

Sitzung am 4. Mai 1888. Herr A. König sprach über die Momentphotographieen von O Anschütz in Lissa, legte eine grosse Anzahl von solchen vor, und zeigte den von Anschütz construierten ‚Schnellseher‘.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 14. März 1888. Herr P. Szymanski führte eine Reihe von Unterrichtsversuchen aus der Optik vor: die objektive Darstellung des Reflexionsgesetzes und der Eigenschaften des Winkelspiegels; eine Vorrichtung, um die Wirkung des gekrümmten Spiegels aus der des ebenen experimentell abzuleiten; objektive Darstellungen der Katakaustik; objektive Darstellung der Grundversuche über die Polarisation des Lichtes. Als Lichtquelle diente teils eine Gebläselampe mit Kalklicht, teils ein von einem Thoncylinder umgebener Argandbrenner.

Sitzung am 16. April 1888. Herr M. Koppe legte einen allgemein verbreiteten Irrtum in der Auffassung der Wirkungsweise des Wagner'schen Hammers dar.

Sitzung am 30. April 1888. Herr M. Koppe setzte die Prinzipien auseinander, auf welchen die Erhaltung einer schwingenden Bewegung beruht; zeigte, dass für die Erklärung des Wagner'schen Hammers die Berücksichtigung der Induktionsströme und der Trägheit des induzierten Magnetismus wesentlich sei, und sprach über die Möglichkeit der Behandlung ähnlicher Probleme in der Akustik. Derselbe legte Modelle von Lissajous'schen Figuren vor. — Herr G. Arendt führte zwei Versuche über den Luftdruck vor.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Normaltangentenbussole nach J. Kessler

von Czeija und Nissl in Wien.

Statt einer Nadel ist ein Glockenmagnet verwendet, der in einem Kupfercylinder von 15,2 mm inneren Durchm. und 1 cm Dicke mit fast momentaner Dämpfung schwingt. Die Aufstellung der Nadel ist gegen den Mittelpunkt des Stromkreises verschiebbar und kann nach der Grösse der Horizontalcomponente des E. M. reguliert werden. Als Stromkreis dienen 5 Windungen eines starken oder 500 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes. Die Ablesung geschieht direkt in Zehnteln der trigonometrischen Tangenten, so dass die Resultate (mit einer Genauigkeit von mindestens 1%) direkt in Ampères bezw. Volts erhalten werden (vgl. *Centralbl. f. Elektrotechnik, 1886, S. 266 und 626*). Genaueres über die Verwendung des Apparates im Unterricht enthält die Pr. Abh. des Mariahilfer Comm. Real- und Obergymnasiums in Wien (1887): Zur absoluten Messung des elektrischen Stromes. Ein Beitrag zur schulmässigen Behandlung des Elektromagnetismus und möglichst einfacher Einführung der modernen praktischen Einheiten: Ampère, Volt und Ohm. Von Josef Kessler. (24 S.)



Universal-Spectralapparat nach H. W. Vogel

von Franz Schmidt und Haensch in Berlin.

Die Benutzung dieses Taschenspektroskops ist wegen seiner leichteren Einstellbarkeit und seiner Lichtstärke viel bequemer als die des Bunsen'schen Apparates. Das Einstellen geschieht, indem man den Spalt eng stellt, das Instrument auf den Himmel richtet und das Hinterende mit den Prismen so weit auszieht, bis man durch *O* sehend die Fraunhofer'schen Linien deutlich erkennt (Fig. 1).

Statt der Skala, welche diesem Instrumente fehlt, ist am Spaltende eine Spiegelvorrichtung angebracht, die in Fig. 2 in natürlicher Grösse abgebildet ist. *B* ist eine abnehmbare Metallkappe mit einer rechteckigen Öffnung, durch welche direkt Licht auf den Spalt *T* fällt. Ausserdem enthält die Kappe noch eine seitliche Öffnung *O*, durch welche das von dem kleinen drehbaren Spiegel *m* reflektierte Licht auf das Spiegelprisma *P* fällt, um von diesem in den oberen Teil des Spalts geworfen zu werden. Man erhält so zwei Spektren übereinander, das eine direkte zur Beobachtung, das andere zur Vergleichung.

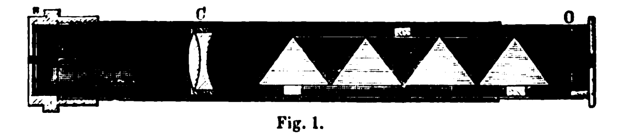


Fig. 1.

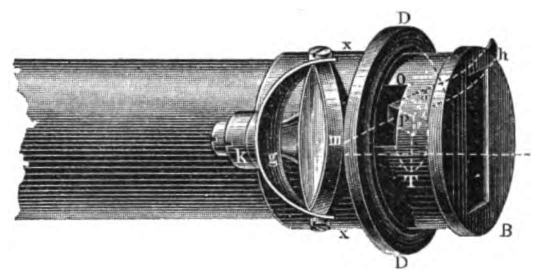


Fig. 2.

Der Spiegel *m* mit seinem Bügel *g* sitzt an einem um die Achse des Instruments drehbaren Metallring *x*, so dass er ganz bei Seite gedreht werden kann (siehe Fig. 3). Der drehbare Ring *D* dient zur Veränderung der Spaltweite. Das Prisma *P* sitzt an einem kleinen Hebel *h*, so dass es auf Erfordernis seitwärts gebracht und der ganze Spalt frei gemacht werden kann.

Fig. 3 zeigt die Anwendung des Instruments zur Beobachtung von Flammen. Das Taschenspektroskop *S* wird in eine Klemme *L* gespannt, die um eine horizontale Achse drehbar ist und an dem Ringe *P* sitzt, der sich an dem Stativ *C* hoch und niedrig stellen lässt. Ein zweiter stellbarer Ring *h* trägt einen verschiebbaren, langen, rechtwinklig gebogenen Draht *dd*, auf den man das Glasröhrchen mit eingeschmolzenem Platindraht *r* steckt, welcher die Probe trägt, die man in der Beobachtungsflamme *A* erhitzen will. Zur Bestimmung der in der Flamme *A* erscheinenden Linien benutzt man eine Vergleichungsflamme *B*. Man stellt diese Vergleichungsflamme nach Seitwärtsdrehung des Spiegels *m* so auf, dass sie gegenüber der kleinen Öffnung *O* (Fig. 2) steht, hinter welcher sich das Spiegelprisma *P* befindet. Statt einer Vergleichungsflamme kann man auch das Sonnenspectrum zur Vergleichung benutzen. Das Instrument stellt man dann so auf, dass durch die Öffnung *O* Tageslicht fällt, dessen Linien eine Lagenbestimmung der Flammenlinien und daraus mit Hülfe der Bunsen'schen Tafeln eine Erkennung des sie erzeugenden Stoffes gestatten. Für Absorptionsanalysen sind dem Stativ noch drei stellbare federnde Klemmen *G*, *H*, *H'*, und ein stellbarer Spiegel *Q* beigegeben. Auch Funkenspektren von Metalllösungen lassen sich mit diesem Instrument beobachten, wozu man sich eines Induktors und eines von H. W. Vogel angegebenen Entladers bedient.

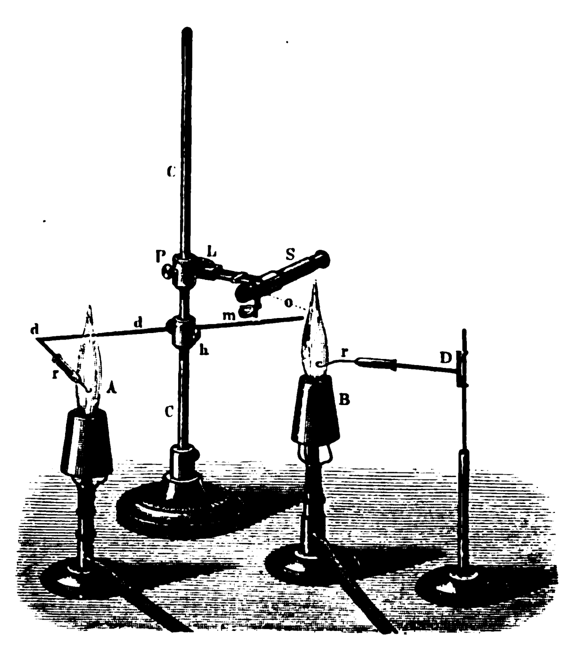


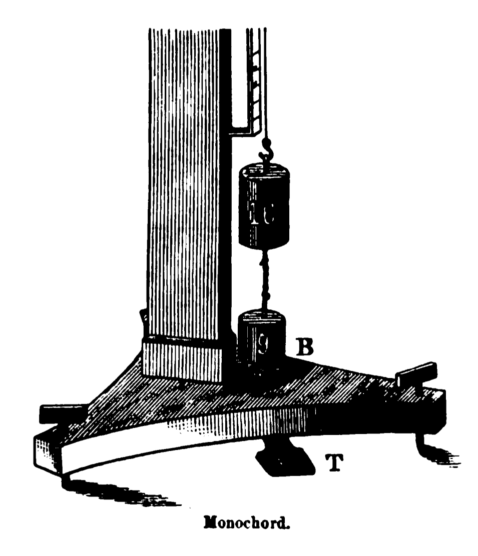
Fig. 3.

Preis des Apparates mit Stativ 80 M., ohne Stativ 36 M., ohne Reflektionsprisma 24 M.

Apparate nach E. Mach

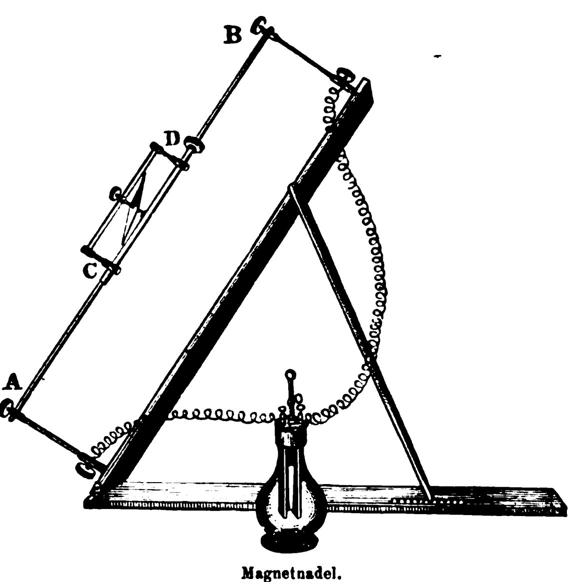
von F. Hajek, Mechaniker am physikalischen Institut der deutschen Universität Prag.

1. Vertikales Monochord.



Monochord.

Vor einer vertikalen Säule ist eine Saite ausgespannt und durch zwei Gewichte belastet; das obere von diesen ist $= 16$, das untere $= 9$, ihre Summe also $= 25$. Beide Gewichte sind durch eine längere Schnur miteinander verbunden und so angebracht, dass das untere dicht über einer beweglichen Platte B schwebt, die sich am Fussgestell befindet Tritt man auf den Hebel T, so wird diese Platte gehoben und trägt das Gewicht 9, so dass die Saite nunmehr nur noch durch das Gewicht 16 gespannt ist. Streicht man die Saite unter abwechselndem Treten und Loslassen, so erhält man schnell nach einander Töne, deren Schwingungszahlen sich wie $4:5$ verhalten.



Magnetnadel.

2. Stellbare Magnetnadel.

Ein Draht AB ist an einem leichten Holzgestell so befestigt, dass er durch zwei Drehungen in die Richtung der erdmagnetischen Kraftlinien gestellt werden kann. Um den Draht ist eine Hülse CD mit einer Magnetnadel so drehbar, dass deren Axe in jede zum Draht senkrechte Lage gebracht werden kann. Fliesst durch AB ein elektrischer Strom, so kann man die Hülse CD samt der Nadel beliebig drehen, ohne dass der Winkel der durch den Strom abgelenkten Nadel gegen den Draht sich ändert.

Correspondenz.

R. K. — Ihr Vorschlag, die drei Kugeln am Töpler'schen Apparat (Heft IV S. 137) mit Führungen, die in der Scheibe befestigt sind, zu versehen oder durch Rollen zu ersetzen, würde nach dem Urteil von Prof. Töpler nicht zweckmässig sein, da sich daraus zuviel Reibung, unter Umständen selbst Klemmungen ergeben würden. Die Lagenänderung der Kugeln kommt während der Dauer eines einzelnen Experimentes kaum in Betracht, nur bei mehreren hinter einander anzustellenden Versuchen ist unter Umständen ein Zurechtrücken der Kugeln erforderlich, was aber bei einiger Übung in einer Minute geschehen kann. — Der Preis des vollständigen Apparates beträgt etwa 200 M.

M. — Die von Herrn A. Hempel benutzte astatische Nadel (Heft IV S. 165) war aus zwei 6 cm langen Stäben in der Weise hergestellt, dass nach der Biegung zur Hufeisenform der Abstand der Schenkel 1 cm, die Länge der Schenkel also noch $2^1/_2$ cm betrug. Die Dimensionen richten sich natürlich nach dem benutzten Galvanometer; die Zahl der Windungen des Instruments war nicht grösser als etwa 100.

Berichtigung.

In der Mitteilung von O. Reichel: Ein Pendelversuch (Heft IV, S. 165) ist in Zeile 16 zu lesen **$62^1/_2$ g** statt $112^1/_2$ g.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Otto Lange in Berlin C.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

I. Jahrgang. August 1888. Sechstes Heft.

Über den Gebrauch des Elektroskops.

Von
Prof. Dr. B. Schwalbe in Berlin.

In den meisten Lehrbüchern, insbesondere in denen, die für gewöhnlich beim Schulunterricht gebraucht werden, finden sich die Versuche zum Nachweis der Grunderscheinungen der Reibungselektricität mit dem gewöhnlichen Elektroskop in einer Weise dargestellt, die dem Schüler die Auffassung schwierig macht dadurch, dass zur Ladung der Elektroskope fast stets die Wirkung durch Influenz benutzt wird. Die einfache direkte Ladungsmethode wird oft nur gelegentlich angegeben und entweder dadurch ausgeführt, dass der Metallknopf des Elektroskops durch Streichen am Kopfhaar elektrisiert wird oder dass man die geriebene Harz- oder Glasstange mit dem Knopfe des Elektroskops in Berührung bringt. Da hierbei aber nur wenig Elektricität von den schlechteren Leitern aus übergeht, so wird man gewöhnlich zur Influenzladung greifen.

Wenn man nun auch die Grundgesetze der Anziehung und Abstossung, der Ableitung und Isolierung mit den Hollundermarkkügelchen an verschiedenen Fäden und an verschiedenen Gestellen (abgeleitet resp. isoliert aufgehängt) prüfen und das Elektroskop nach Besprechung der Influenz zur Wiederholung brauchen mag, so scheint es doch zweckmässig das Elektroskop auch unmittelbar zu benutzen; dafür ist die Herstellung der direkten Ladung in bequemer Weise wünschenswert. In einem Vortrage in dem hiesigen Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts[1]) teilte ich eine von mir seit längerer Zeit benutzte Ladungsmethode mit, die ich inzwischen auch in den Elementaren Vorlesungen über Elektricität von S. P. Thompson (übersetzt von Himstedt) S. 13 angeführt gefunden habe („wenn der Knopf nur mit einer Kameelhaarbürste gebürstet wird, so bringt die geringe Reibung eine merkliche Wirkung hervor“). Diese Ladungsmethode gestattet, die Elektroskope sehr fruchtbringend zu verwerten, doch will ich auf die methodische Darstellung der Versuche nicht speciell eingehen, da sich die Anwendung nach dieser Richtung hin leicht von selbst ergiebt.

Für die Versuche wurden mehrere Elektroskope benutzt, unter anderen ein Ballonelektroskop und ein Elektroskop mit Skala, sodass die Grösse des Ausschlags abgelesen werden konnte; auch ziemlich wenig empfindliche Apparate erweisen sich noch als brauchbar. Selbst ganz roh angefertigte Elektroskope, die aus einem isoliert befestigten und leitenden Metalldraht und zwei Papierstreifchen bestanden, eigneten sich noch dazu, und sind daher diese Apparate und Versuche für jede Schule zugänglich. Der Knopf der Elektroskope war stets metallisch (nicht gefirnisst), poliert oder matt; ein Unterschied in den Erscheinungen zeigte sich nicht.

Die Ladung lässt sich nun ausserordentlich leicht und schnell dadurch be-

[1]) Diese Zeitschrift H. 3, S. 134.

wirken, dass die Kugel des Elektroskops mit einem gewöhnlichen starken Haarpinsel oder Borstenpinsel schwach gepeitscht wird; die Grösse des Pinsels ist am besten so zu wählen, dass die Kugel von den Pinselhaaren fast ganz umhüllt wird. Die Goldblättchen gehen sofort stark auseinander und zwar mit negativer Elektricität. Die Ladung lässt sich in schnellster Weise wieder erzeugen und nach Bedürfnis schwächer oder stärker erhalten. Um die Wirkung verschiedener Stoffe prüfen zu können, wurde eine Reihe von Pinseln, jeder in einer Messinghülse befestigt hergestellt; die Hülse konnte isoliert auf einem starken Glasstab befestigt werden; die Pinselfasern hatten eine Länge von 3 bis 4 cm. Mit folgenden Stoffen bepinselt wurde das Metall stets negativ geladen: durch Borsten-, Haar- oder Faserpinsel von Dachs, Ross, Biber, Iltis, Schwein, Ziege, Bast, Glas, und zwar sind diese Stoffe der Stärke der Erregung nach geordnet, sodass Dachspinsel am stärksten, Pinsel von Glasfäden nur wenig wirken.

Da gerade die Erregung des Metalls durch Reiben mit Glas besonders wichtig ist, so wurde noch ein anderer Weg der direkten Ladung eingeschlagen, der ebenso schnell zum Ziele führt. Man hält das Elektroskop fest und zieht den zu reibenden Körper, wenn er plattenförmig ist, mit scharfem Ruck ohne zu stark anzupressen über den Kopf fort, oder wenn er stabförmige Gestalt hat, seitlich am Kopf und Hals des Elektroskops entlang, ohne dabei die etwa vorhandene Glasfassung zu berühren; auch hier lässt sich die Ladung durch mehrmaliges Überführen verstärken. Eine kleine Glasplatte, die vorher erwärmt war, giebt dann dem Elektroskop eine starke negative Ladung; die positive Ladung des Glases ist leicht nachweisbar. Hierbei wird das Amalgam, das auf den Knopf des Elektroskops aufgetragen, zu einem ähnlichen Versuche benutzt wird, überflüssig.

Ausser Messing wurden auch Kupfer und Zink, die in Plattenform aufgeschraubt wurden, geprüft, ohne dass sich andere Resultate ergaben. Um durch Bestreichung verschiedene Stoffe prüfen zu können, wurden Holzstäbchen von quadratischem Querschnitt (1 qcm) und von 12 cm Länge, welche auch in die an einem Glas- oder Ebonitgriff befestigte Messinghülse gesteckt werden konnten, mit dem betreffenden Stoffe überzogen. Will man die Elektricität des geriebenen Körpers nicht prüfen, sondern nur die Ladung des Elektroskops erhalten, so ist der Griff überflüssig. So wurden Stäbchen benutzt, die mit Flanell, Seidenzeug, Gummi, Kautschuk, Katzenfell, Papier u. s. w. überzogen waren, ebenso wie Stäbchen, die nur aus Holz oder Marmor bestanden. Es zeigte sich auch hier, dass das Metall (Messing) fast immer negativ wurde, wenn auch die Erregung sehr verschieden stark war. Welchen Einfluss das Material hatte, geht daraus hervor, dass von drei verschiedenen Ebonitplatten zwei das Messing beim Hinüberziehen negativ erregten und selbst positiv wurden, während bei der dritten das Metall positiv und die Platte negativ wurde (wahrscheinlich enthielt diese Platte viel Schwefel); auch beim Reiben mit Gummi wurde ein Elektroskop positiv, ein anderes negativ, der Gummi dagegen negativ resp. positiv. Hierdurch hat man also ein leichtes Mittel das Elektroskop positiv zu laden. Die positive Ladung gelingt immer, wenn man mit einem Stück Stangenschwefel scharf am Knopf des Elektroskops entlang streicht; durch Hinüberziehen einer Paraffinplatte (von reinem Paraffin) lässt sich das Elektroskop ebenfalls positiv laden, wie überhaupt Paraffin mit allen untersuchten Körpern, mit Stearin, Schwefel, Holz etc. negativ wird, während die anderen Körper positiv werden. Paraffin eignet sich aber zum Laden deshalb weniger, weil wegen der geringen Härte leicht Teilchen am Metallknopf



sitzen bleiben. Auch scheint es nicht zweckmässig solche Platten bei den elektrischen Versuchen als Isolatoren zu gebrauchen, wie in ‚Practical Physics‘ von Stewart und Gee (London, 1888) empfohlen wird, weil beim geringsten Drucke oder bei schwacher Berührung (Fortnehmen der Paraffinplatte vom Tische etc.) die Platten dauernd negativ werden (die Ladung hält wochenlang an), und die Ladung durch Erwärmen dann wieder entfernt werden muss.

Durch diese Methoden der Ladung, nach denen jederzeit zwei Elektroskope schnell mit verschiedenen Elektricitäten direkt geladen werden können, lässt sich nun eine grosse Zahl von Versuchen zur Einübung resp. zum ersten Nachweis der Gesetze anstellen. Um die dabei öfters erforderliche Verbindung zwischen zwei oder mehreren Elektroskopen herzustellen, wurde entweder ein Stück Tressenschnur benutzt oder ein Metallstäbchen (Stahlnadeldraht), an welches eine Siegellackstange als Griff gekittet war.

Man ladet das eine Elektroskop (*A*) negativ, das andere (*B*) positiv, setzt beide in Verbindung und der Ausgleich der Ladung zeigt, dass die Elektricitäten entgegengesetzt sind, während wenn *A* und *B* beide positiv oder beide negativ geladen sind, die Blättchen divergierend bleiben. Sehr leicht lässt sich die verschiedene Leitungsfähigkeit der verschiedenen Stoffe prüfen, indem man *B* ungeladen mit *A* verbindet und *A* bepinselt; die verhältnismässig grosse Leitungsfähigkeit von Glas, das an der Luft gelegen hat, kann man auch durch unmittelbare Berührung des geladenen Elektroskops mit dem Stabe zeigen, der durch Erwärmen zum Nichtleiter wird. Das Verhalten eines trockenen und nassen Fadens, das Verhalten von Nichtleitern bei Condensation von Feuchtigkeit, das Wiedereintreten der Isolierung beim Erwärmen und ähnliche Versuche sind leicht ausführbar.

Wird *A* geladen und mit *B* (ungeladen) verbunden, so zeigt die Abnahme des Ausschlags die Verminderung der elektrischen Dichtigkeit bei Vergrösserung der Oberfläche. Dieselben Versuche lassen sich in entsprechender Weise unter Hinzunahme eines dritten Elektroskops wiederholen.

Überhaupt können alle sonst angeführten Elektroskopversuche, wie der Faraday'sche Eiseimerversuch, die Wirkung von Spitzen u. s. w. auf diese Weise leicht angestellt werden. Besonders verdient Erwähnung, dass sich zwei mit einander durch Tressenfäden verbundene Elektroskope sehr gut zum Nachweis der Influenzgesetze benutzen lassen. Leicht lassen sich auch mit dem oben angeführten Apparate die Gesetze der sogenannten elektrostatischen Spannungsreihe nachweisen. Man ladet *A* positiv, *B* negativ, befestigt die oben beschriebenen Stäbe an dem isolierenden Griff und reibt gegen verschiedenes Material; die Reihenfolge der Erregung, sowie dass immer beide Elektricitäten auftreten, lässt sich leicht darthun; auch vermag der Schüler die Reihenfolge selbst zu finden.

Gerade die Wiederholung einfacher Versuche nach verschiedenen Methoden und von verschiedenen Gesichtspunkten aus vermag die Schüler vor der gedächtnismässigen Auffassung, wozu viele neigen, zu bewahren. Die Schüler anzuleiten, selbst die Experimente anzustellen, wie es in England und Nordamerika in einzelnen Fällen geschieht, oder praktische Curse für den Physikunterricht einzurichten ist bei unseren jetzigen Schulverhältnissen und der kurz gemessenen Zeit nicht gut möglich, sonst würden sich die elektrostatischen Versuche, in der oben angedeuteten Weise durchgeführt, sehr gut dazu eignen; alle die Einflüsse von Glätte und Rauhigkeit der Oberfläche, stofflicher Verschiedenheit u. s. w. auf die Art der Ladung würden in den einzelnen Fällen von den Schülern selbst gefunden werden können.

Wheatstone's Brücke im Unterricht.

Von

Dr. **Karl Noack** in Giessen.

Selbst im elementaren Unterricht liegt das Bedürfnis vor, die Methoden zu lehren, die zur Messung von Widerständen und zur Vergleichung der elektromotorischen Kräfte bei wissenschaftlichen Untersuchungen angewandt werden, denn abgesehen von der Bedeutung und der hervorragenden Fruchtbarkeit dieser Messungsmethoden für den Unterricht verlangt auch das praktische Leben bei der in raschestem Maasse wachsenden Verbreitung des elektrischen Stromes als Licht-, Wärme- und Kraftquelle entschieden eine etwas genauere Kenntnis der Mittel und Wege, welche die hierbei in Betracht kommenden Grössen zu ermitteln gestatten.

Im Voltameter und der Tangentenbussole sind für die Bestimmung und Vergleichung der Stromstärke Hilfsmittel gegeben, die auch im Schulunterricht wohl verwendbar sind, da beide Apparate Übersichtlichkeit und Einfachheit des zu Grunde liegenden Prinzips vereinigen. Von den Vorrichtungen zur Messung von Widerständen lässt sich das Gleiche leider nicht sagen, da einmal die Kirchhoff'schen Regeln nicht auf jeder Stufe des Unterrichts abgeleitet und gelehrt werden können und zweitens die Ausführung der Widerstandssätze und Stromverzweigungen auf Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit keine Rücksicht nimmt.

In allen den Fällen, in denen eine mathematische Ableitung der Gesetze der Stromverzweigung nicht möglich ist, bietet die Analogie der hydrodynamischen, beziehungsweise aërodynamischen Vorgänge mit denen des elektrischen Stromes ein ausgezeichnetes Mittel, den Schülern die hier in Betracht kommenden Verhältnisse begrifflich näher zu rücken. Obgleich diese Methode nichts weniger als neu ist, so wird sie doch bis jetzt sehr wenig benutzt, und da sie in der That in vielen Fällen eine wesentliche Erleichterung für das Verständnis der einschlägigen Verhältnisse bedeutet, so möchte ich in den folgenden Zeilen einige einfache Vorrichtungen beschreiben, die für besagten Zweck besonders nutzbringend sind.

1. Zwei schmale, hohe Mariotte'sche Flaschen von etwa 2 Litern Rauminhalt (Fig. 1) sind durch eine Messingröhre von 1 m Länge verbunden, in welche von 20 zu 20 cm vertikale Glasröhren als Manometer eingekittet sind. Die eine Flasche hat am Boden einen zweiten Tubus mit Glashahn. Stellt man die Luftröhre in letzterer Flasche auf ein niederes, in der anderen auf ein hohes Niveau und öffnet den Abflusshahn so weit, dass etwas mehr Wasser aus dieser Flasche abfliesst, als aus der anderen einströmt, so erhält man zwischen den Flaschen bei constanter Niveaudifferenz eine stationäre Strömung; die Manometer zeigen das Druckgefälle an. Ein Hahn am Ende der Messingröhre gestattet die Herstellung beliebiger Geschwindigkeit bei einer bestimmten Druckdifferenz.

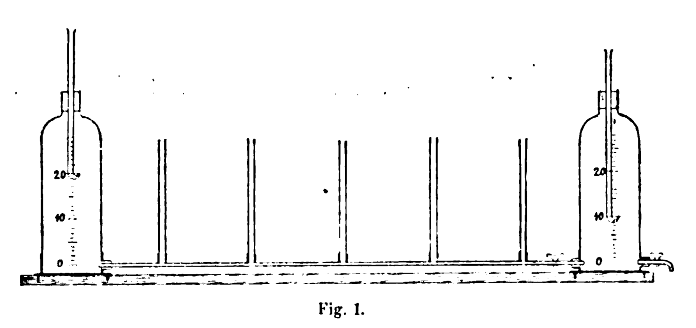


Fig. 1.

Der einfache Apparat gestattet in ausgezeichneter Weise den Zusammenhang zwischen der Potentialdifferenz oder elektromotorischen Kraft (entsprechend der Niveau- oder Druckdifferenz in den Flaschen), dem Widerstand im Strombett und der Stromstärke zu zeigen, während die Niveauunterschiede in den Manometern ein Bild des Potentialgefälles geben.

Hätte man eine zweite genau gleichartige Vorrichtung parallel neben der ersten aufgestellt und zwischen den beiden Messingröhren eine Verbindungsröhre angebracht, so würde in dieser im allgemeinen ebenfalls ein Strömen des Wassers stattfinden und zwar von der Stelle höheren Druckes (Manometerstandes) nach der niederen Druckes. Nur wenn die Röhre Orte gleichen Druckes verbindet, findet kein Strom statt und umgekehrt kann die Abwesenheit jedes Stromes als Beweis dafür gelten, dass Orte gleichen Niveaus (Potentials) verbunden sind. Es ist überflüssig des weiteren zu erläutern, in welcher Weise diese Betrachtungen und Analogieen fortzusetzen sind.

2. Auf einem Brett von 60 cm Länge und Breite (vergl. Fig. 2) sind in den vier Ecken geschlossene Cylinder von Messingblech aufgestellt und durch vier Messingröhren parallel den Seiten des Grundbrettes, von denen jede in der Mitte einen Hahn hat, zu einem Quadrat verbunden. Die Cylinder haben im Deckel einen Tubus, in den mittels Gummistopfen Manometer eingesetzt werden können. Zwei von den Cylindern, die einander gegenüber stehen, sind durch eine fünfte Messingröhre diagonal verbunden; diese ist in der Mitte durchschnitten und zwischen ihre Enden ist ein Glascylinder eingeschaltet, der sogleich näher beschrieben werden wird. Die beiden anderen Cylinder tragen Stutzen von Messingrohr, die in der Verlängerung der anderen Diagonale nach Aussen gerichtet sind; der eine dieser Ansätze kann durch einen Hahn geschlossen werden.

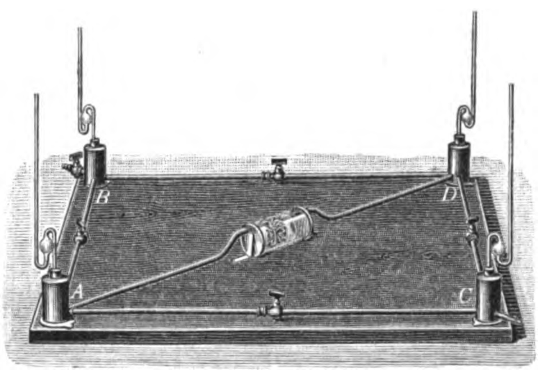


Fig. 2. (1/10 nat. Gr.)

Wird in einem der vier Cylinder, etwa in *C*, durch Blasen an dem Rohransatz die Luft verdichtet, so gehen, falls der Hahn an *B* offen ist, zwei Luftströme nach *B*, der eine über *A*, der andere über *D*. Sind nun alle Verbindungshähne in den gleich langen und gleich weiten Röhren offen, so zeigt das Manometer in *C* hohen, das in *B* niederen Druck, während die beiden in *A* und *D* gleich hoch stehen; in diesem Falle kann durch die Verbindungsröhre von *A* und *D* kein Strom gehen, weil sie Punkte gleichen Druckes (Potentials) verbindet. Wird dagegen durch Drehen eines der vier Verbindungshähne, etwa in *AB*, das Gleichgewicht gestört, so steigt das Manometer in *A* und es geht ein Strom von *A* nach *D* (vom höheren zum niederen Potential). Um wieder gleichen Manometerstand in *A* und *D* oder Stromfreiheit der Brücke *AD* herbeizuführen, giebt

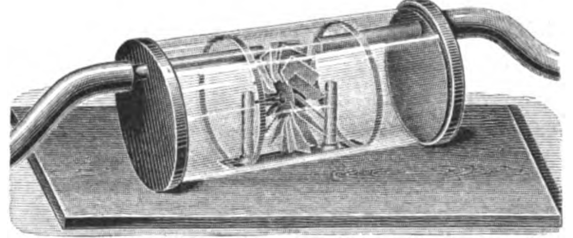


Fig. 3. (ca. 1/2 nat. Gr.)

es zwei Wege, Drehen des Hahnes in DB, wodurch der Druck (Potential) in D steigt, oder in CA, wodurch das Manometer in A sinkt, und so fort[1]).

Das Mittel, die Stromfreiheit der Brücke AD sichtbar zu machen, befindet sich in dem oben erwähnten und in Fig. 3 schematisch abgebildeten Glascylinder. Derselbe ist beiderseits durch Messingkappen geschlossen, durch welche die beiden Teile der diagonalen Röhre in das Innere führen; dort sind zu Spitzen ausgezogene Glasröhren eingekittet, deren Form aus der Figur ersichtlich ist. Zwischen diesen Röhren läuft ein sehr leichtes Turbinen-Rädchen von folgender Einrichtung: eine dünne Stahlnadel, die in Achaten läuft, geht durch die Mitte eines kreisrunden ziemlich dünnen Korkscheibchens. In den Rand des letzteren sind radial, aber mit der Stahlachse einen Winkel bildend, 16 Einschnitte gemacht, in welche quadratische Stückchen dünnes Cartonpapier befestigt werden. Das ganze Rädchen mit schrägstehenden Schaufeln muss den Glascylinder möglichst ausfüllen, ohne aber bei der Drehung den Mantel zu berühren. Durch seine Drehung zeigt dasselbe sowohl die Anwesenheit als auch die Richtung des Luftstromes; da es sehr leicht beweglich ist, so erweist sich der Apparat als durchaus empfindlich.

Es möge noch erwähnt werden, dass ein ähnliches Rädchen, in die Verbindungsröhre der beiden Mariotte'schen Flaschen bei Versuch 1 eingeschaltet, zur Beurteilung der Stromgeschwindigkeit dienen kann.

3. Genau nach dem Schema der unter 2 beschriebenen Luftbrücke ist die in Figur 4 schematisch abgebildete galvanische Brücke construiert. In A tritt der Strom in das aus vier Messingschienen gebildete Quadrat $ABDC$ ein, in D verlässt er dasselbe. In die Seiten AB und AC können durch je vier Stöpsel Vergleichs-Widerstände von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 Ohm eingeschaltet werden; der Zweig BC enthält den zu messenden Widerstand, während sich in BD der Widerstandssatz von 1 bis 110 Ohm befindet. An die Polklemmen der Diagonale BC wird ein Galvanoskop angeschlossen. Sehr zweckmässig für den Unterricht erweist es sich, in den Strom, der den Apparat durchfliesst, einen Stimmgabelunterbrecher einzuschalten und die Stromfreiheit des Brückendrahtes mit Hilfe eines Telephons nachzuweisen, das mit einem zur Stimmgabel passenden kegelförmigen Resonator versehen ist.

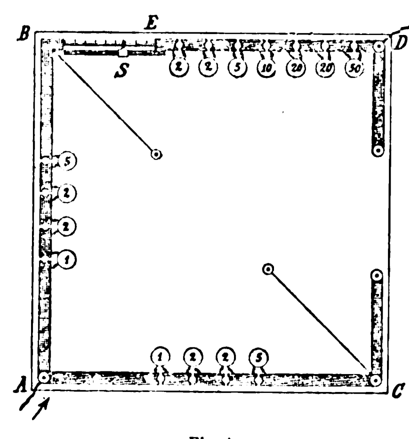


Fig. 4.

Die Vorrichtung ist in dieser Form auch für Messungen, die nicht den höchsten Grad von Genauigkeit erfordern, sehr gut zu gebrauchen. Die Widerstände bestehen aus bifilar gewickeltem, mit Seide umsponnenem Nickelindraht. Der Messdraht zwischen B und E besteht aus Platin und hat bei angenähert 30 cm Länge einen Widerstand von $1\frac{1}{4}$ Ohm; ihm parallel liegt ein an die Schiene EB angeschlossenes Lineal von Messing, auf dem ein Messingschlitten mit Taster und Platinschneide gleitet. Der Taster wird im Ruhezustand durch eine Feder an den Messdraht angepresst; will man den Schlitten verschieben, so wird der Taster gehoben[2]).

[1]) Über eine ähnliche Vorrichtung von W. HOLTZ vgl. d. Heft, S. 266.

[2]) Die beschriebenen Apparate werden von der Firma Liebrich's Nachfolger in Giessen in guter Ausführung zu folgenden Preisen geliefert: 1) Apparat für Wasserstrom 20 Mk., 2) pneumatische Brücke 40 Mk., 3) galvanische Brücke 60 Mk., alle drei Apparate zusammen 110 Mk.

Beiträge zur geometrischen Optik.

Von

Professor Dr. **K. Schellbach** in Berlin.

(Schluss.)

§ 8.

Einige Eigenschaften der Ellipse.

Für die weiteren Betrachtungen ist die Kenntnis einiger wichtiger Sätze aus der Lehre von den Kegelschnitten erforderlich. An diese Sätze soll zunächst erinnert werden.

Die Ellipse werde mit Hülfe eines Fadens construiert, der um zwei Stifte F und F' (die Brennpunkte) geschlungen ist. Bezeichnet man (Fig. 13) die Vectoren EF und EF' mit ρ und ρ', die grosse Halbaxe OA mit a, die kleine Halbaxe OB mit b, so ist

1) . . . . $\rho + \rho' = 2a.$

Da ferner $BF' = BF = a$, und $OF' = OF = \sqrt{a^2 - b^2}$, so können die Brennpunkte aus dem Scheitel B mit Hülfe eines Kreises vom Radius a leicht construiert werden.

Bezeichnet man den Winkel OBF' mit λ, und $\sin\lambda$ mit e, so ist $OF' = OF = ea$. Man nennt e die Excentricität der Ellipse.

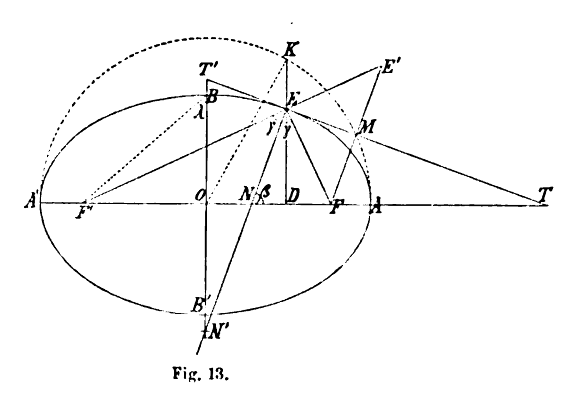


Fig. 13.

Wird $F'E$ über E hinaus bis E' verlängert, so dass $F'E' = 2a$, EE' also gleich EF ist, dann bildet die Mittelsenkrechte ME des Dreiecks EFE' eine Tangente der Kurve; denn jeder Punkt E'' auf dieser geraden Linie, beliebig nahe an dem Punkte E, würde ein Dreieck $F'E''E'$ geben, dessen zwei Seiten $F'E''$ und $E''E'$ grösser sind als $F'E'$ oder $2a$.

Eine Senkrechte ENN' auf der Tangente TET' heisst eine Normale der Kurve. Das gleichschenklige Dreieck $EE'F$ lehrt, dass die Vectoren mit der Normale gleiche Winkel γ bilden, also die Normale und Tangente durch Halbierung des Winkels FEF' construiert werden kann.

Bezeichnet man in dem Dreieck FEF' die Strecke FN mit u und $F'N$ mit v, so ist $u + v = 2ae$ und $u/\rho = v/\rho'$, also $u = e\rho$ und $v = e\rho'$. Daher ist in dem Dreiecke FEN

$$\frac{\sin\beta}{\sin\gamma} = \frac{\rho}{e\rho} = \frac{1}{e}$$

oder

2) . . . . $\sin\gamma = e\sin\beta.$

Diese merkwürdige Formel, die für alle Kegelschnitte gilt, aber in den Lehrbüchern der analytischen Geometrie gewöhnlich unbeachtet bleibt, macht darauf aufmerksam, dass die Kegelschnitte in der geometrischen Optik eine Rolle spielen müssen.

Bezeichnet man die Abscisse OD des Punktes E mit x und die Ordinate

ED mit y, so hat man aus den Dreiecken EDF und EDF' die Gleichungen

$$3) \ldots\ldots \begin{cases} y^2 = \rho^2 - (ae-x)^2 = \rho^2 - a^2e^2 + 2aex - x^2, \\ y^2 = \rho'^2 - (ae+x)^2 = \rho'^2 - a^2e^2 - 2aex - x^2. \end{cases}$$

Also, wenn man die erste Gleichung von der zweiten abzieht,

$$0 = \rho'^2 - \rho^2 - 4aex \quad \text{oder} \quad (\rho' + \rho)(\rho' - \rho) - 4aex,$$

oder, da $\rho' + \rho = 2a$, $\rho' - \rho = 2ex$,

$$3a) \ldots\ldots\ldots \rho = a - ex \quad \text{und} \quad \rho' = a + ex.$$

Setzt man den Wert von ρ in die erste der Gleichungen (3) ein, so erhält man auf der Stelle

$$4) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

als Gleichung der Ellipse für rechtwinklige Coordinaten. Da in dem Dreieck $F'FE'$ der Punkt O in der Mitte von FF' und der Punkt M in der Mitte von FE' liegt, so ist die Linie OM die Hälfte der Linie $F'E'$, also gleich a. Daher lässt sich mit $OM = a$ ein Kreis AKA' um die Ellipse beschreiben.

Der Schenkel MT' eines rechten Winkels, dessen Spitze M sich stets an der Peripherie des umbeschriebenen Kreises hinbewegt, während der andere Schenkel MF stets durch den Focus F geht, tangiert bei seiner Bewegung stets eine Ellipse, die auf diese Weise durch ihre Tangenten sehr genau gezeichnet werden kann.

Verlängert man die Ordinate DE bis zum Kreise in K und bezeichnet den Winkel KOD mit t, so ist nach (4)

$$5) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \begin{cases} x = a\cos t, \\ y = b\sin t. \end{cases}$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen lassen sich die Eigenschaften der Ellipse weit leichter als mit der einzigen Gleichung (4) entwickeln, besonders wenn man unter t die Zeit versteht, welche vom Beginn der Lehrstunde an gezählt wird.

§ 9.

Übergang des Lichtes aus Wasser in Luft.

Es war $ON = v - ae = e\rho' - ae = e^2x$, also

$$ND = x - e^2x = \frac{b^2}{a^2}x = \frac{b^2}{a}\cos t.$$

Bezeichnet man die Normale EN mit n, so folgt aus dem Dreiecke END

$$n^2 = \frac{b^4}{a^2}\cos t^2 + b^2 \sin t^2,$$

also

$$n = b\sqrt{1 - e^2 \cos t^2}.$$

Man hat daher die drei nützlichen Formeln:

$$6) \ldots\ldots n\sin\beta = b\sin t; \quad n\cos\beta = \frac{b^2}{a}\cos t; \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{a}{b}\operatorname{tg} t.$$

Wegen Ähnlichkeit der Dreiecke END und ENT ist

$$n^2 = ND.NT, \quad \text{also} \quad NT = \frac{an^2}{b^2 \cos t} = \frac{a}{\cos t}(1 - e^2 \cos t^2) = \frac{a}{\cos t} - e^2 a \cos t;$$

daher

$$OT = \frac{a}{\cos t}.$$

Die Gleichungen der Ellipse § 8, (5) lehren, dass man a mit b, x mit y und t mit $\pi/2 - t$ vertauschen kann, daher ist auch

$$OT' = \frac{b}{\sin t}.$$

Wird die Normale bis zum Durchschnitt N' (Fig. 14) mit der kleinen Axe verlängert, dann lehrt das Dreieck NON', dass

$$ON' = e^2 x \operatorname{tg}\beta = \frac{e^2 x a}{b} \operatorname{tg} t = \frac{e^2 a^2}{b} \sin t.$$

Das Produkt

$$OT'.ON' = e^2 a^2 = OF^2$$

zeigt, dass ein Kreis durch $ET'N'$ auch durch F und F' geht. Aus diesem wichtigen Satze folgt, dass die Winkel FEN', $FT'N'$, OFN' alle einander gleich sind. Ist also PL senkrecht auf ON', so ist $FN'L = \gamma$ und $EN'L = PN'G = \beta$. Überdies aber ist

$$\sin\gamma = e \sin\beta.$$

Denkt man sich also rechts von der trennenden Fläche BON' Wasser und links Luft, und der Brechungsexponent zwischen Wasser und Luft wäre $4/3 = 1/e$, so würde ein von F ausgehender Lichtstrahl FN' beim Austritt in Luft nach $N'G$ gebrochen.

Ein Nachbarstrahl FN_1, der unter dem Winkel γ' in N_1 einfällt, wird nach G' gebrochen, so dass also ein Lichtkegel $FN'N_1$, der von F ausgeht, als abgestumpfter Kegel $N'N_1G'G$ in die Luft austritt. Offenbar würde für ein Auge in GG' dieser Lichtkegel aus R zu kommen scheinen, oder das Auge in GG' würde den leuchtenden Punkt F in R erblicken.

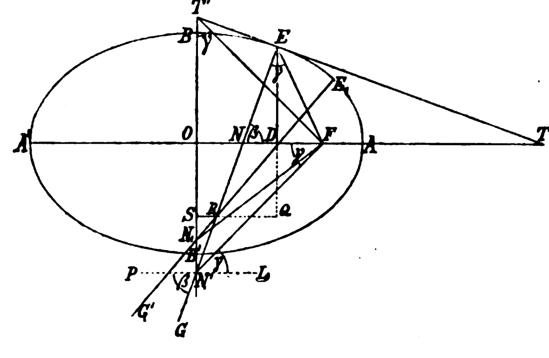


Fig. 14.

Um die Coordinaten $OS = \eta$ und $SR = \xi$ des Punktes R zu berechnen, muss man RS und ED bis zum gegenseitigen Durchschnitt in Q verlängern und findet dann nach (6), ganz wie vorher in § 8,

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{a}{b}\operatorname{tg} t = \frac{y + \eta}{x - \xi} \quad \text{oder} \quad x \operatorname{tg} t - \xi \operatorname{tg} t = \frac{b}{a} y + \frac{b}{a}\eta,$$

oder

$$a \sin t - \frac{b^2}{a} \sin t = ae^2 \sin t = \xi \operatorname{tg} t_1 + \frac{b}{a}\eta.$$

Für die Normale aus E_1 ergiebt sich

$$ae^2 \sin t_1 = \xi \operatorname{tg} t_1 + \frac{b}{a}\eta.$$

Zieht man die erste dieser beiden Gleichungen von der zweiten ab, so findet man nach leichten Rechnungen

$$\xi = a e^2 \cos t \cos t_1 \cos \frac{1}{2}(t_1 + t).$$

Setzt man diesen Wert von ξ in die erste der beiden Gleichungen ein, so ergiebt sich die Ordinate η des Durchschnittpunktes zweier beliebiger Normalen der Ellipse. Für zwei Nachbarnormalen wird $t_1 = t$, also

$$7) \quad \xi = a e^2 \cos t^3 \quad \text{und} \quad \eta = \frac{a^2 e^2}{b} \sin t^3.$$

Eliminiert man aus diesen beiden Gleichungen den Winkel t, so gelangt man zu der Gleichung der Kurve, auf welcher die Bilder des Punktes F liegen:

$$8) \quad \left(\frac{a\xi}{a^2 - b^2}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{b\eta}{a^2 - b^2}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.$$

Diese Kurve heisst die Evolute der Ellipse. Worauf diese Benennung sich gründet, wird im folgenden Paragraphen gezeigt werden.

Der Brechungsexponent

$$n = \frac{1}{e} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}}$$

giebt für b den Wert

$$b = a\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}},$$

so dass die Gleichung der Evolute unter der Form erscheint

$$\left(\frac{n^2 \xi}{a}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{n\sqrt{n^2 - 1}}{a} \cdot \eta\right)^{\frac{2}{3}} = 1.$$

§ 10.

Krümmungshalbmesser und Evolute der Ellipse.

Man bezeichnet die Strecke ER, welche zwei Nachbarnormalen mit einander gemein haben, als den Krümmungshalbmesser der Ellipse im Punkte E, weil ein aus R mit RE beschriebener Kreis sich am innigsten an die Ellipse anschliesst.

Die Grösse dieses Halbmessers kann aus dem rechtwinkligen Dreieck ERQ berechnet werden. Denn es ist, wenn man ER mit R bezeichnet und die Gleichungen (5), (6) und (7) benutzt,

$$R = \frac{x - \xi}{\cos\beta} = \frac{a^2 n}{b^2}(1 - e^2 \cos t^2) = \frac{a^2}{b}(1 - e^2 \cos t^2)^{\frac{3}{2}} = \frac{a^2 n^3}{b^4}.$$

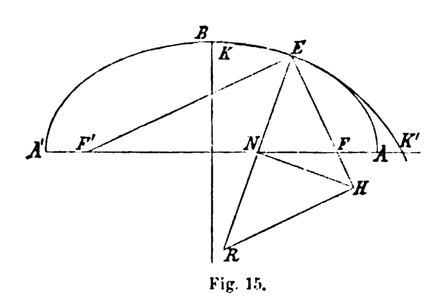


Fig. 15.

Die Ordinate im Focus F heisst der halbe Parameter p der Ellipse und ist nach (4) gleich b^2/a, daher ist der Krümmungshalbmesser

$$9) \quad R = \frac{n^3}{p^2}.$$

(Eine Gleichung, die für alle Kegelschnitte gilt.)

Nach dieser Gleichung kann der Krümmungsmittelpunkt R des Punktes E (Fig. 15) leicht gefunden werden; denn errichtet man auf der Normalen in N ein Loth NH bis zum Durchschnittspunkte H mit dem verlängerten Radiusvector EF, so trifft ein zweites auf EH errichtetes Loth HR den Krümmungsmittelpunkt R.

Nach (2), (5), (6) ist nämlich

$$10) \ldots \quad \cos\gamma = \sqrt{1 - e^2 \sin\beta^2} = \frac{1}{n}\sqrt{n^2 - e^2 b^2 \sin t^2} = \frac{p}{n}.$$

Hiernach ist aus Dreieck ENH

$$11) \ldots \quad EH = \frac{n^2}{p} \text{ und } ER = \frac{n^3}{p^2} \text{ oder } R = \frac{n}{\cos\gamma^2}.$$

Beschreibt man nämlich mit diesem Radius einen Kreis KEK', so schliesst sich dieser inniger als jeder andere Kreis an die Ellipse an, und giebt also ein Maass für die Grösse der Krümmung der Kurve in dem Punkte E. Zugleich muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass dieser Kreis die Kurve zwar berührt, aber auch schneidet.

Sind nun (in Fig. 16) 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 die Mittelpunkte der unendlich kleinen gleichen Sehnen $a'a$, ab, bc, cd, de, ef, fg der Kurve $a'g$, und 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6′ die Mittelpunkte der Kreise, welche durch drei auf einander folgende Ecken des in die Kurve $a'g$ eingeschriebenen Polygons gehen, dann nennt man die Kurve 1′6′ die Evolute der Kurve $a'g$. Wäre auf die krumme Linie 1′6′ ein Faden $a'1' \ldots 6'$ gelegt worden, der mit dem Punkte a' beginnend abgewickelt wird, so würde dieser Punkt bei seiner Bewegung die Kurve $a'g$ beschreiben. Deswegen heisst die Kurve $1' \ldots 6'$ die Abgewickelte oder Evolute der $a'g$. Die durch Gleichung (8) in § 9 dargestellte Kurve ist demnach die Evolute der Ellipse. Man überzeugt sich auch leicht, dass die Linie 66′ besteht aus der Linie 01′ und den Elementen der Linie 1′6′, dass man also mit Hülfe von 66′ die Länge der Evolute bestimmen kann.

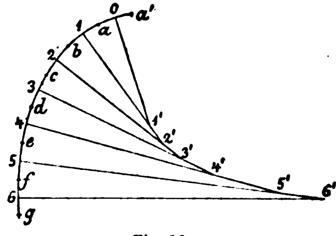


Fig. 16.

In Fig. 17 ist unter $CF_1C'F_1'$ die Evolute der Ellipse dargestellt. Aus der Gleichung (8) ergiebt sich für $\eta = 0$ die Abscisse der Spitze F_1 der Evolute: $\xi = a - b^2/a = a - p$, und für $\xi = 0$ die Ordinate der Spitze C': $\eta = a^2/b - b$.

Legt man einen Faden über den Zweig F_1C' der Evolute und verlängert ihn noch um die Strecke $F_1A = p$ bis A, dann beschreibt der Punkt A, wenn der Faden abgewickelt wird, den Quadranten AB der Ellipse. In der bekannten Strecke BC' ist also der halbe Parameter und die Länge der krummen Linie F_1C' begriffen. (Die Evoluten sind diejenigen krummen Linien, deren Länge man am frühsten berechnen lernte.)

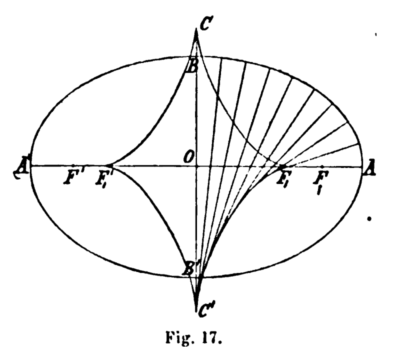


Fig. 17.

§ 11.

Übergang des Lichtes aus Luft in Wasser.

Wenn der leuchtende Punkt F sich in Luft befindet (Fig. 18) und einen unendlich schmalen Strahlenkegel FAA' auf die Wasserfläche aussendet, so dringt dieser in der Gestalt des abgestumpften Kegels $AA'BB'$ in das Wasser ein, und die Spitze

dieses Kegels liegt in F'. Ein in BB' befindliches Auge erblickt dann den leuchtenden Punkt in F'. Die Lage des Punktes F' wird auf ähnliche Weise wie in § 6 gefunden. Ist $FO = a$ die Entfernung des leuchtenden Punktes über dem Wasserspiegel und die Strecke $OP = na$, und PC parallel OA gezogen, so muss der Strahl FA bis C verlängert und dann mit AC aus A ein Kreis construiert werden, welcher die Senkrechte OP in D schneidet. Offenbar ist dann in dem Dreieck AFD der Winkel $ADF = \beta$. Ein zweiter Strahl FA' wird nach B' gebrochen, BA und $B'A'$ schneiden sich hinreichend verlängert in F'.

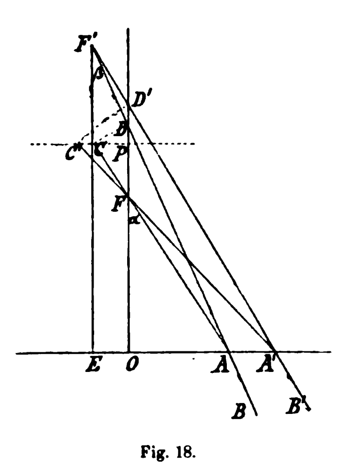


Fig. 18.

Die Coordinaten $OE = \xi$ und $EF' = \eta$ des Bildes ergeben sich aus den Dreiecken AEF' und AOF, so wie $A'EF'$ und $A'OF$ durch folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{array}{l}\sin\alpha = n\sin\beta \\ \sin\alpha_1 = n\sin\beta_1\end{array}\right\}, \quad \left.\begin{array}{l}\eta\,\mathrm{tg}\,\beta - \xi = a\,\mathrm{tg}\,\alpha \\ \eta\,\mathrm{tg}\,\beta_1 - \xi = a\,\mathrm{tg}\,\alpha_1\end{array}\right\}.$$

Aus diesen Gleichungen folgt durch dieselben Operationen wie in § 8:

$$\eta = na\frac{\cos\beta^3}{\cos\alpha^3}$$

oder

$$\eta = na\left(1 + \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\mathrm{tg}\,\alpha^2\right)^{\frac{3}{2}}$$

und

$$\xi = a\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\mathrm{tg}\,\alpha^3.$$

Die Elimination von $\mathrm{tg}\,\alpha$ aus diesen Gleichungen führt zu der Evolute einer Hyperbel (§ 13)

$$12) \quad \eta^{\frac{2}{3}} = (na)^{\frac{2}{3}} + (n^2 - 1)^{\frac{1}{3}}\,\xi^{\frac{2}{3}}.$$

Auf dieser würden einem in dem dichteren Medium befindlichen Auge die Bilder des Punktes F erscheinen, wenn das Medium nicht auf das Auge selbst eine besondere Einwirkung ausübte. Hiernach werden hohe Thurm- oder Bergspitzen einem aus der Tiefe aufblickenden Auge höher und stärker erscheinen als sie wirklich sind.

§ 12.

Die Hyperbel.

In der analytischen Geometrie wird gezeigt, dass

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

die Gleichung der Hyperbel aus dem Mittelpunkte ist. Aus ihr folgt die Ordinate

$$y = \frac{bx}{a}\sqrt{1 - \frac{a^2}{x^2}}.$$

In Fig 19 sind XX' und YY' die Coordinatenaxen, $OA = OA' = a$ die halbe grosse Axe und $AB = b$ die darauf senkrechte halbe kleine Axe der Hyperbel. Die Punkte B und B' sind mit O verbunden. Es lässt sich leicht zeigen, dass

diese Verbindungslinien die Asymptoten der Hyperbel sind. Sind ferner C und C' die Mittelpunkte von OB und OB', der Winkel $AOC = \alpha$ und die Seiten des Rhombus $OCAC'$ gleich c, so ist $c^2 \sin 2\alpha$ der Flächeninhalt desselben. Die Seiten CA und $C'A$ werden über A hinaus beliebig verlängert. In dem Parallelogramme $OC'PU$ sind dann $LC'AN$ und $CNHU$ Ergänzungsparallelogramme, also einander gleich, daher ist das Parallelogramm $OLHU = OC'AC = c^2 \sin 2\alpha$. Setzt man also $OU = u$ und $UH = v$, so ist $uv = c^2$.

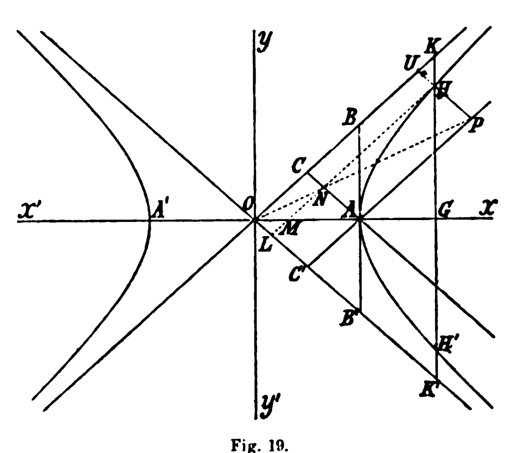


Fig. 19.

Nähme man $OU = u$ als die Abscisse des Punktes H und $UH = v$ als seine Ordinate an, so könnte man die letzte Gleichung als die Gleichung der Hyperbel bezeichnen. Der Anblick der Figur lehrt, dass $UK = UH = OL = LM = v$ ist. Das Dreieck OGK ergiebt $x = (u + v)\cos\alpha$ und das Dreieck MHG $y = (u - v)\sin\alpha$, also

$$2u = \frac{x}{\cos\alpha} + \frac{y}{\sin\alpha} \quad \text{und} \quad 2v = \frac{x}{\cos\alpha} - \frac{y}{\sin\alpha},$$

daher

$$4uv = 4c^2 = \frac{x^2}{\cos\alpha^2} - \frac{y^2}{\sin\alpha^2}.$$

Es ist aber $2c\cos\alpha = a$ und $2c\sin\alpha = b$, daher

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Verlängert man also $C'A$ bis G, nimmt auf AG irgend einen Punkt P, zieht PNO und PU parallel OC' und dann LNH parallel OU, so ist offenbar H ein Punkt der Hyperbel, von der man somit beliebig viele Punkte finden kann.

§ 13.

Die Evolute der Hyperbel.

In Fig. 20 ist der Punkt H der Hyperbel bestimmt durch die Coordinaten $OU = u$ und $UH = v$, so dass $uv = c^2$, und irgend ein anderer Punkt H' der Hyperbel durch die Coordinaten $OU' = u'$ und $OV' = v'$, so dass $u'v' = c^2$. Werden also die Ordinaten UH und $V'H'$ bis zum Durchschnitt in G verlängert, so sind die Parallelogramme $OVHU$ und $OV'H'U'$ flächengleich, sodass $U'NHU$ und $VNH'V'$ Ergänzungsparallelogramme werden. Die Diagonalen HH' und $U'V$ sind also einander parallel, und die Verlängerungen HK und $H'K'$ der Diagonale HH' einander gleich. Wären also von einer Hyperbel nur die Asymptoten OK und OK' und ausserdem noch ein Punkt H gegeben, so könnte man durch eine sehr leichte Construktion beliebig viele andere Punkte der Kurve finden; denn eine beliebige Sehne durch H, z. B. KHK', giebt einen neuen Punkt H', wenn $K'H' = KH$ gemacht wird.

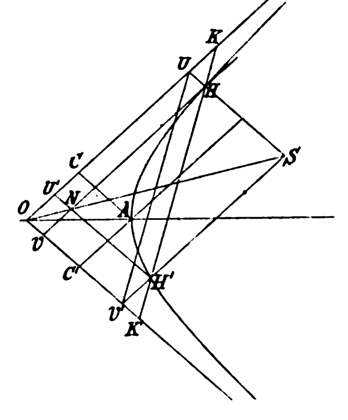


Fig. 20.

Wäre H (Fig. 21) ein Punkt der Hyperbel und HU parallel der Asymptote OK' und man machte $UK = OU$, so würde $HK = HK'$, also KK' eine Tangente der Kurve, da sich auf ihr nicht noch ein zweiter Punkt der Hyperbel finden könnte. Auf diese leichte Weise liesse sich eine Tangente und damit eine Normale HN construieren.

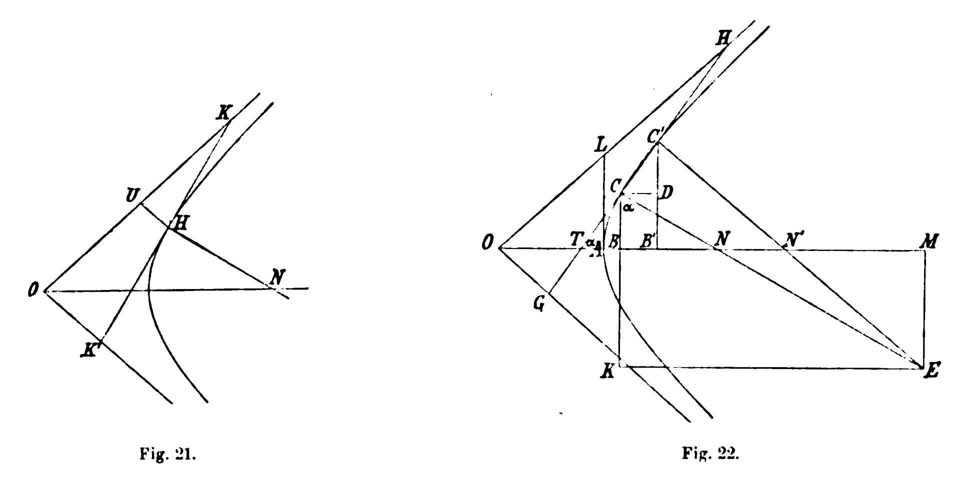


Fig. 21. Fig. 22.

Die Evolute der Hyperbel lässt sich jetzt leicht entwickeln. In Fig. 22 sind OH und OG die Asymptoten der Hyperbel, $OA = a$, $AL = b$ die halbe grosse und kleine Axe, $OB = x$, $BC = y$ die Coordinaten des Punktes C und $OB' = x_1$, $B'C' = y_1$ die Coordinaten von C', die Linie $C'CT$ eine Sekante der Kurve, sowie CNE und $C'N'E$ zwei Normalen. Es ist dann

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1;\quad \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{y_1^2}{b^2} = 1;\quad \frac{x_1^2 - x^2}{a^2} = \frac{y_1^2 - y^2}{b^2},$$

oder

$$1) \ldots\ldots\ldots \quad \frac{y_1 - y}{x_1 - x} = \frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x_1 + x}{y_1 + y} = \frac{C'D}{CD} = \operatorname{tg}\alpha.$$

Liegt der Punkt C' unendlich nahe an C, so wird die Sekante zur Tangente und man erhält

$$2) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{b^2 x}{a^2 y}.$$

Es ist also nach der Figur CE der Krümmungshalbmesser der Hyperbel. Sind $OM = \xi$ und $ME = \eta$ die Coordinaten des Punktes E und verlängert man die Ordinate y um $BK = -\eta$, so ist $KE = \xi - x$, also, da Winkel $BCN = \alpha$,

$$3) \ldots\ldots\ldots \quad \xi - x = (y - \eta)\operatorname{tg}\alpha = \frac{b^2 x}{a^2} - \frac{b^2 x}{a^2 y}\eta,$$

$$4) \ldots\ldots\ldots \quad \xi - x_1 = \frac{b^2 x_1}{a^2} - \frac{b^2 x_1}{a^2 y_1}\eta.$$

Daher (3) − (4) = (5)

$$5) \ldots\ldots\ldots \quad (x_1 - x)\left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right) = \frac{b^2}{a^2}\left(\frac{x_1}{y_1} - \frac{x}{y}\right)\eta,$$

also

$$\eta = \frac{y y_1 (x_1 - x)}{x_1 y - x y_1}\left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right).$$

Es ist aber

$$x_1 y - x y_1 = (x_1 - x)\, y - x\,(y_1 - y) = (x_1 - x)\left(y - x\frac{y_1 - y}{x_1 - x}\right)$$

$$= (x_1 - x)\left(y - \frac{x b^2 x}{a^2 y}\right) = \frac{(x_1 - x)}{y}\left(y^2 - \frac{x^2 b^2}{a^2}\right) = -\frac{(x_1 - x)}{y}\, b^2.$$

Daher wird

$$6) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \eta = -y^3\left(\frac{a^2+b^2}{b^4}\right).$$

Wenn dieser Wert von η in (3) eingesetzt und die Gleichung der Hyperbel benutzt wird, so ergiebt sich

$$7) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \xi = x^3\left(\frac{a^2+b^2}{a^4}\right).$$

Aus den letzten beiden Gleichungen findet man durch leichte Operationen

$$\left(\frac{a\xi}{a^2+b^2}\right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{b\eta}{a^2+b^2}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$$

als Gleichung der Evolute der Hyperbel, während

$$\left(\frac{a\xi}{a^2-b^2}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{b\eta}{a^2-b^2}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$$

sich als Gleichung der Evolute der Ellipse (§ 9) ergab.

§ 14.

Die Parabel.

Die Parabel kommt bei den hier behandelten Erscheinungen der Lichtbrechung nicht in Betracht. Doch soll in diesem Zusammenhange nachträglich eine Eigenschaft der Parabel besprochen werden, welche noch in den Abschnitt von der Spiegelung des Lichtes gehört. Ist (in Fig. 23) S der Scheitel der Parabel, F der Focus, $FK = p$ der Parameter, $SA = x$ die Abscisse des Punktes B, $AB = y$ die Ordinate, ferner $SA' = x$, $A'B' = y$, $BC = x^1 - x$, $B'C = y_1 - y$, so ist

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{y_1 - y}{x_1 - x} = \frac{y_1^2 - y^2}{(x_1 - x)(y_1 + y)} = \frac{2p}{y_1 + y}.$$

Liegt B' unendlich nahe an B, so verwandelt sich die Sekante in eine Tangente an B; dies bildet mit XX' einen Winkel α, dessen Tangente gegeben ist durch

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{p}{y}.$$

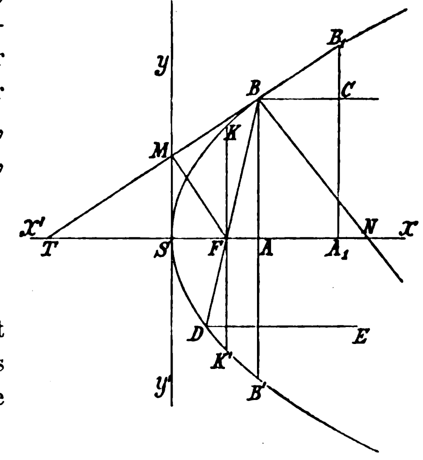


Fig. 23.

Denkt man sich jetzt die Figur soweit verwandelt, dass TBB' nicht mehr eine Sekante, sondern eine Tangente ist, dann muss man an A den halben Parameter $AN = p$ antragen, damit $ABN = \alpha$ und NB eine Normale auf der Tangente BT wird. Daher giebt das rechtwinklige Dreieck NBT die Strecke $AT = 2x$, da $y^2 = p \,.\, AT$. Da nun $ST = SA = x$ und $FT = p/2 + x$, so ist F der Mittelpunkt von TN und der Radiusvector $FB = p/2 + x$. Das gleichschenklige Dreieck FBT lehrt, dass $\angle FBT = \angle B_1BC = \alpha$ ist. Vermöchte daher der Parabelbogen bei B einen Sonnenstrahl CB, der parallel mit der Axe SX einfällt, zu reflektieren, so würde er durch den Focus nach D gelangen und wieder in der Richtung DE parallel der Axe austreten.

Ein Rotationsparaboloid ist eine krumme Oberfläche, welche entsteht, wenn eine Parabel sich um ihre Axe dreht. Wenn diese Fläche innerhalb spiegelnd wirkt, so wird sie alle Strahlen, die aus dem Unendlichen auf sie einfallen, im Brennpunkte vereinigen und hier eine grosse Licht- und Wärmewirkung erzeugen. Solche innerhalb glänzend polierte, sehr grosse metallene Paraboloide werden von der Artillerie benutzt, um ferne feindliche Schanzen hell zu beleuchten. Durch Öffnungen in K und K' werden zwei Kohlenstifte dem Focus F genähert, bis sie sich durch einen elektrischen Strom entzünden. Im Scheitel S ist ein kleines Fernrohr befestigt, um den Apparat richten zu können. Vergleiche die archimedische Fabel.

§ 15.

Gang der Lichtstrahlen im dreiseitigen Glasprisma.

Es sei PBC (Fig. 24) der Querschnitt eines dreiseitigen Glasprismas, $ABCD$ der Weg eines von A ausgehenden Lichtstrahls und $AB'C'D'$ der eines zweiten unendlich nahen Strahls, sodass der unendlich schmale Lichtkegel ABB' als abgestumpfter Strahlenkegel $CDC'D'$ austritt, dessen Spitze in A' liegt. Ein zwischen DD' liegendes Auge würde also das Bild des Punktes A in A' erblicken. KBN, KCN' sowie $K'B'N_1$, $K'C'N_1'$ sind Normalen auf PB und PC. Die Winkel α, β; β', α'; α_1, β_1; β_1', α_1' der Strahlen $ABCD$ und $AB'C'D'$ mit den Einfallsloten. Wenn der brechende Winkel des Prismas mit λ bezeichnet wird, so hat hat man folgende Reihe von Gleichungen:

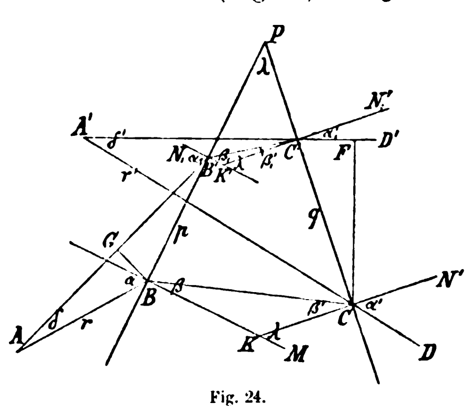


Fig. 24.

$$1)\ \sin\alpha = n\sin\beta,\quad 2)\ \sin\alpha' = n\sin\beta',\quad 3)\ \sin\alpha_1 = n\sin\beta_1,\quad 4)\ \sin\alpha_1' = n\sin\beta_1',$$
$$5)\ \beta + \beta' = \lambda,\quad 6)\ \beta_1 + \beta_1' = \lambda,\quad 7)\ \alpha_1 = \alpha + \delta,\quad 8)\ \alpha_1' = \alpha' - \delta',$$

in denen δ und δ' unendlich kleine Grössen sind.

Ferner ist BG ein Loth auf AB' und CF ein Loth auf $A'D'$, und wenn man BB' mit p und CC' mit q bezeichnet, so ist aus dem Dreieck BGB' das Lot $BG = p\sin BB'G = p\cos\alpha_1$ und das Lot CF aus Dreieck $CFC' = q\sin CC'F = q\cos\alpha_1'$. Es ist aber $BG = r\sin\delta = r\delta$ und $CF = r'\sin\delta' = r'\delta'$, wenn AB mit r und $A'C$ mit r' bezeichnet wird. Also ist

$$9) \ldots\ldots\ldots\ r\delta = p\cos\alpha_1, \qquad r'\delta' = q\cos\alpha_1' \ldots\ldots\ldots\ (10$$

Legt man den Punkt B' sehr nahe an P, so werden p und q Seiten des Prismas. Aus dem Dreieck ist dann PBC $p : q = \cos\beta' : \cos\beta$, daher

$$\frac{r\delta}{r'\delta'} = \frac{\cos\beta'}{\cos\beta} \cdot \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_1'}.$$

Aber

$$\frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_1'} = \frac{\cos(\alpha + \delta)}{\cos(\alpha' - \delta')} = \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'},$$

daher

$$11) \ldots\ldots\ldots\ \frac{r\delta}{r'\delta'} = \frac{\cos\alpha\cos\beta'}{\cos\alpha'\cos\beta}.$$

Nach (3) und (7) ist

$$n \sin\beta_1 = \sin(\alpha + \delta) = \sin\alpha \cos\delta + \cos\alpha \sin\delta = \sin\alpha + \delta \cos\alpha.$$

Es ist aber

$$n \sin\beta_1 = n\sin(\beta + \beta_1 - \beta) = n\sin\beta\cos(\beta_1 - \beta) + n\cos\beta\sin(\beta_1 - \beta) = n\sin\beta + n\cos\beta(\beta_1 - \beta),$$

da $\beta_1 - \beta$ unendlich klein ist.

Nach (1) ist also $n\cos(\beta_1 - \beta) = \delta\cos\alpha$ oder

$$\delta = \frac{n\cos\beta}{\cos\alpha}(\beta_1 - \beta) \text{ und ebenso } \delta' = \frac{n\cos\beta'}{\cos\alpha'}(\beta_1 - \beta).$$

Daher

$$12) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{\delta'}{\delta} = \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \cdot \frac{\cos\beta'}{\cos\alpha'}.$$

Aus (11) u. (12) ergiebt sich endlich

$$13) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{r}{r'} = \left(\frac{\cos\alpha \cos\beta'}{\cos\beta \cos\alpha'}\right)^2.$$

Durch diese Gleichung lässt sich also r' durch r, α und λ berechnen, denn β' ist gleich $\lambda - \beta$ und β ergiebt sich aus (1) also auch α' aus (2).

Beispiel. Für ein Glasprisma sei $n = 1{,}530$, $\alpha = 30°$. Daraus ergiebt sich $\beta = 19°4'$, $\beta' = 10°56'$, $\alpha' = 16°52'$ und somit $r' = 1{,}1320 . r$.

§ 16.

Das Minimum der Ablenkung eines Lichtstrahls im Prisma.

Der Weg des Strahles sei $SQQ'S'$, alles Übrige ist aus der Figur 25 verständlich, so dass also der Winkel $Q'TU$ oder A die Ablenkung des Strahles bezeichnet.

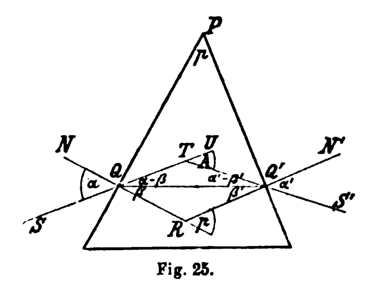


Fig. 25.

Nimmt man den Durchmesser des um das Dreieck $QQ'R$ beschriebenen Kreises als Einheit an, so ist jede Seite der Sinus des gegenüberliegenden Winkels, daher liefert das Dreieck $QQ'R$ die Gleichung:

$$\sin\beta^2 + 2\sin\beta\sin\beta'\cos p + \sin\beta'^2 = \sin p^2.$$

Es ist aber

$$\sin\alpha = n\sin\beta \text{ und } \sin\alpha' = n\sin\beta',$$

daher

$$\sin\alpha^2 + 2\sin\alpha\sin\alpha'\cos p + \sin\alpha'^2 = n^2\sin p^2.$$

Nun ergiebt sich leicht

$$\sin\alpha^2 + \sin\alpha'^2 = 1 - \cos(\alpha + \alpha')\cos(\alpha - \alpha')$$

und

$$2\sin\alpha\sin\alpha' = \cos(\alpha - \alpha') - \cos(\alpha + \alpha').$$

Setzt man diese Werte in die letzte Gleichung ein, so findet man sogleich

$$(\cos p + \cos(\alpha - \alpha'))(\cos p - \cos(\alpha + \alpha')) = (n^2 - 1)\sin p^2$$

oder

$$\cos(\alpha + \alpha') = \cos p - \frac{(n^2 - 1)\sin p^2}{\cos p + \cos(\alpha - \alpha')}.$$

Der Bruch ist für $\alpha = \alpha'$ offenbar ein Minimum, also $\cos(\alpha + \alpha')$ ein Maximum, daher $\alpha + \alpha'$ ein Minimum.

Es ist aber aus dem Dreieck $QQ'R$ $\beta + \beta' = p$ und $\alpha + \alpha' = A + p$. Für $\alpha' = \alpha$, also $\beta' = \beta$ hat man daher

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(A+p)}{\sin \frac{1}{2} p}.$$

Man kann also mit Hülfe dieser Formel den Brechungsexponenten der Substanz des Prismas finden, dessen brechenden Winkel man kennt, wenn man das Minimum der Ablenkung eines einfallenden Lichtstrahles beobachtet hat.

Erfahrungen bei einigen chemischen Unterrichtsversuchen.

Von

Professor **H. Landolt** in Berlin.

1. Die Entwickelung von Sauerstoff aus einem Gemenge von Kaliumchlorat und Braunstein, welche bekanntlich oft mit zu grosser Heftigkeit erfolgt, lässt sich in beliebigem Grade mässigen, wenn der Masse Chlorkalium zugesetzt wird. Man wendet den Rückstand von einer frühern Sauerstoffbereitung an und mischt in einer Reibschale etwa einen Teil desselben mit 2 Teilen frischem Kaliumchlorat und $^1/_2$ Teil Braunsteinpulver. Bei der Erhitzung ist nicht die mindeste Aufsicht nötig; das Gas entwickelt sich in regelmässigem Strom und zwar ist dasselbe erheblich weniger mit Chlor verunreinigt als dasjenige, welches aus der gewöhnlich angewandten Mischung von gleichen Teilen Chlorat und Braunstein erhalten wird.

2. Das Verschwinden von Sauerstoffgas bei der Verbrennung wird bekanntlich meist unter Anwendung von Phosphor gezeigt. Ruhiger gestaltet sich der Versuch, wenn man als oxydierbare Substanz Eisen in der Form von Ferrum pulveratum wählt und folgenden Apparat benutzt: Zwei mit einander durch eine Schliffstelle oder Kautschukdichtung verbundene Glaskugeln A und B, deren jede ungefähr 1 Liter fasst, gehen unten in eine Röhre, oben in eine 4 cm weite Öffnung aus. In die letztere wird ein Kautschukstopfen eingesetzt, durch welchen drei Kupferdrähte hindurchgehen. Der mittlere trägt ein rundes kupfernes Schälchen l von etwa 3 cm Durchmesser, welches zum Aufnehmen des Eisenpulvers dient. Die untern Enden der beiden andern Drähte dd' werden durch einen pferdehaardicken Platindraht von solcher Länge verbunden, dass die Mitte desselben bis in das Schälchen heruntergebogen werden kann. Zur Vorbereitung des Versuchs füllt man die geräumige Glasschale C, in welche die von der Kugel B herabgehende Röhre tief eintaucht, mit gefärbtem Wasser und ersetzt zunächst den Stopfen mit den Drähten durch einen andern, der mit einer kleinen knieförmig gebogenen Glasröhre versehen ist. Auf das äussere Ende der letzteren wird ein Stück Kautschukschlauch nebst Quetschhahn gesteckt und nun durch Saugen das Wasser in die Kugeln AB emporgehoben. Durch Verbinden der Kautschukröhre mit einem Sauerstoffgasometer und

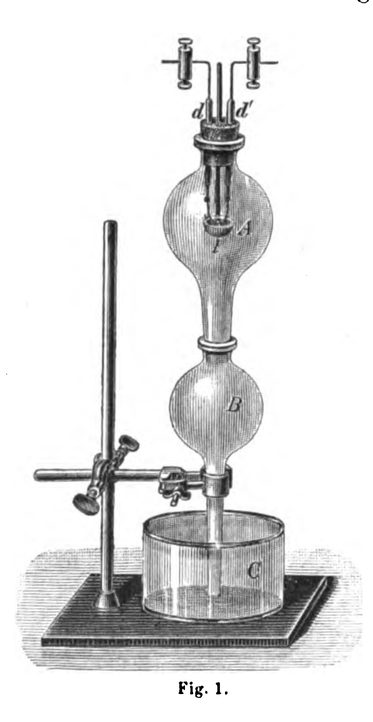


Fig. 1.

Öffnen des Quetschhahnes lässt man sodann den ganzen Apparat mit Gas sich anfüllen. Schliesslich wechselt man den Stopfen rasch gegen denjenigen mit

den Drähten, nachdem zuvor der Löffel gehäuft mit Eisenpulver gefüllt worden war und verbindet die beiden Drähte mit einer Batterie von 4 bis 5 Bunsen'schen oder Grove'schen Elementen. Bei Ausführung des Versuches wird der Strom geschlossen, der erglühende Platindraht entzündet das Eisen und das Wasser steigt rasch in die Kugeln empor.

3. Um die Gewichtszunahme bei der Oxydation nachzuweisen, kann das schwammförmige Zinn angewandt werden, welches man durch Einwirkung von Zink auf eine verdünnte und schwach mit Salzsäure versetzte Lösung von Zinnchlorür erhält. Die lockere Metallmasse wird von Zeit zu Zeit von den Zinkstücken abgenommen, sodann mit sehr viel warmem Wasser, zuletzt mit Alkohol ausgewaschen, rasch getrocknet und in einer gut schliessenden Flasche aufbewahrt. Das Präparat lässt sich in einer auf der Wage stehenden Porzellanschale mittelst eines Streichholzes entzünden und glimmt lebhaft ab. Ist der Zinnschwamm nicht genügend ausgewaschen worden, so entsteht bei der Verbrennung ein weisser Rauch, was als eine nicht zur Sache gehörige Erscheinung vermieden werden muss.

4. Die Verbrennung von Eisen unter Auftreten der beim Bessemer-Process stattfindenden Erscheinungen lässt sich sehr hübsch mit Hülfe von Spiegeleisen ausführen. Man bringt ein oder zwei Stücke im Gesamtgewichte von 10 bis 20 g auf eine Unterlage, wozu am besten die Kohlenplatte eines Bunsen'schen Elementes dient, welche an einer Stelle schwach ausgehöhlt wird. Zur Erhitzung wendet man eine mit Leuchtgas und Sauerstoff gespeiste Glasbläserlampe an, deren Düse nach abwärts gerichtet wird. Nachdem zunächst das Spiegeleisen mit vorwiegend reducierender Flamme geschmolzen worden ist, verringert man den Leuchtgaszufluss, worauf sich zeigt, dass aus dem Eisen unter Aufkochen eine erhebliche Menge Gas entweicht, welches mit weisslicher Flamme verbrennt. Hat diese aufgehört, so beginnt dann die Oxydation unter glänzendem Funkensprühen, welches man besonders lebhaft machen kann, wenn die Sauerstoffzuströmung etwas vermehrt wird.

5. Für den Versuch der sogenannten umgekehrten Verbrennung sind bereits eine Reihe verschiedener Apparate construiert worden[1]), an welche sich noch die nebengezeichnete Vorrichtung anreihen mag, vermittelst deren die Erscheinung sehr deutlich beobachtet werden kann. Ein Lampencylinder aus Glimmer, wird am unteren Ende mit einem dreifach durchbohrten Kork oder Gummistopfen verschlossen. In eine der Öffnungen ist ein rechtwinklig gebogener Glasstab gesteckt, der zum Befestigen des Apparates an einem Stativ dient. Durch die zwei andern gehen Glasröhren, welche beide oben mit etwa 20 mm langen und 2 mm weiten Platinröhrchen versehen sind, die man sich durch Aufrollen eines dünnen Platinbleches auf eine Stricknadel herstellt und an das Glas anschmilzt. Die beiden Glasröhren müssen leicht in dem Stopfen verschiebbar sein, was durch schwaches Fetten erreicht wird. Auf den obern Rand des Glimmercylinders passt endlich ein Blechdeckel, welcher in der Mitte mit einer etwa 20 mm weiten Öffnung versehen ist.

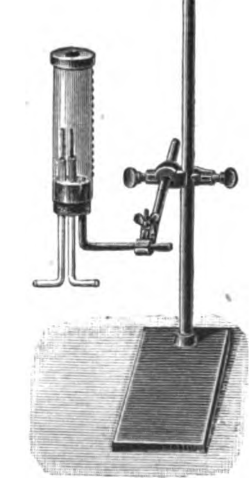


Fig. 2.

Zur Anstellung des Versuchs verbindet man mittelst Kautschukschläuchen die eine Glasröhre (*A*) mit der Leuchtgasleitung, die andere (*B*) mit einem Sauerstoffgasometer, wobei es noch zweckmässig ist, zwei kleine Wasser-

[1]) Heumann. Anleitung zum Experimentieren. 1876. S. 102—109.

flaschen einzuschalten, um die Stärke der beiden Gasströme beurteilen zu können. Zunächst wird die Röhre *A* tief gestellt und der Glimmercylinder sich mit Leuchtgas anfüllen gelassen, welches oben an der Öffnung des Blechdeckels entzündet wird. Indem man sodann die Röhre *B* hoch schiebt und Sauerstoff aus deren Spitze ausströmen lässt, entzündet sich dieser, und man bringt nun die entstandene Sauerstoffflamme durch Niederziehen in den untern Teil des Glimmercylinders, wobei die beiden Platinspitzen in ungefähr gleiche Höhe zu stellen sind. Jetzt wird durch Regulieren der Hähne das Leuchtgas allmählich vermindert, der Sauerstoff vermehrt, so dass die Atmosphäre im Cylinder umwechselt. Man sieht dann eine wogende Flamme entstehen, welche sich bald auf die andere Platinspitze niedersenkt, so dass nunmehr Leuchtgas in Sauerstoff brennt. Wird hierauf der Zufluss des Leuchtgases stärker, derjenige des Sauerstoffs schwächer gemacht, so erfolgt wieder Umkehrung der Atmosphäre und die Flamme ist abermals auf die andere Platinspitze übergegangen. Selbstverständlich kann der Wechsel beliebig wiederholt werden. Zum Regulieren der beiden Gasströme dienen am besten Schraubenquetschhähne.

6. Um bei dem Versuch der Verbrennung von selbstentzündlichem Phosphorwasserstoffgas recht grosse Phosphorsäureringe zu erhalten, lässt sich in folgender Weise verfahren: Die Glasröhre, welche von dem mit Phosphor und Kalilauge beschickten Kölbchen in das mit Wasser gefüllte Gefäss führt, worin die Gasblasen emporsteigen sollen, wird an ihrem unteren Teile nicht wie gewöhnlich umgekrümmt, sondern nur so gebogen, dass sie von oben beinahe senkrecht in die Wasserschicht einmündet. Das Ende verbindet man mittelst eines Stückes nicht zu dünnwandigen Kautschukschlauches mit dem Halse eines kleinen Glastrichters von 3—4 cm Öffnung. Die Länge und Stärke des Kautschukschlauches muss so bemessen werden, dass der in das Wasser etwas schief eintauchende Trichter noch ziemlich steif mit der Gasleitungsröhre verbunden bleibt, aber nach oben umkippt, wenn man durch die letztere Luft bläst, was vorher auszuproben ist. Entwickelt man nun Phosphorwasserstoff, so füllt sich der Trichter allmählich mit dem Gase an, biegt dann aber zuletzt um und lässt eine grosse Blase durch das Wasser emporsteigen, welche sich sodann entzündet und einen grossen Rauchring ausstösst. Ist der Kautschukschlauch zu schwer beweglich gemacht, so verplaffen die Phosphorsäureringe, ebenso, wenn der Trichter zu gross genommen wird.

An gut ausgebildeten Ringen lässt sich noch der Versuch des Zerschneidens derselben mit dem Finger oder einem Lineal vornehmen. Bekanntlich sieht man dann an der getrennten Stelle die beiden Enden unter Wirbelbewegung einander sich nähern, bis der Ring wieder vollständig geschlossen ist.

Bezüglich der Darstellung des Phosphorwasserstoffgases mag noch bemerkt werden, dass man, um Entzündungen im Entwicklungskolben vorzubeugen, am einfachsten die Luft aus demselben durch Leuchtgas verdrängt. Der Kolben wird mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstopfen versehen, welcher ausser der Gasableitungsröhre noch eine knieförmig gebogene Glasröhre trägt, deren einer Schenkel bis zu der Kalilauge herabreicht, während der horizontale äussere, den man an einer Stelle etwas ausgezogen hat, mit der Leuchtgasleitung verbunden wird. Nach Verdrängung der Luft schmilzt man die Glasröhre an der verengten Stelle ab und beginnt dann erst mit dem Erwärmen des Kolbeninhaltes.



Vorlesungsapparate für die Mechanik.

Von

Professor **A. Oberbeck** in Greifswald.

(Aus den Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Neuvorpommern und Rügen, 19. Jahrg. 1887.)

1. Das Kreuzpendel.

Ein Apparat zur Demonstration der Gesetze des physischen Pendels.

Die Formel für die Schwingungsdauer des einfachen (mathematischen) Pendels:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

lässt sich leicht mit Hülfe einer kleinen, an einem langen Faden hängenden Kugel durch Schwingungsversuche mit veränderter Fadenlänge nachweisen.

Viel complicierter und daher dem Verständnis des Anfängers schwerer zugänglich ist der Ausdruck für die Schwingungsdauer des physischen Pendels:

$$T = \pi \sqrt{\frac{\Sigma\, m r^2}{G\,.\,M\,.\,e}},$$

wo unter e die Entfernung des Schwerpunkts von der Drehungsaxe, unter M die Gesamtmasse zu verstehen ist. Das richtige Verständnis des physischen Pendels ist aber von so fundamentaler Bedeutung für den Unterricht in allen Teilen der Physik, dass man kein Bedenken tragen darf, einige Zeit bei demselben zu verweilen. Abgesehen von seiner Wichtigkeit für die Messung der Constanten G ist dasselbe das Vorbild vieler anderer pendelartiger Apparate. Die Schwingungen eines Magnetstabes, der Bifilarwage, der Torsionswage etc. folgen sämtlich denselben Fundamentalgesetzen.

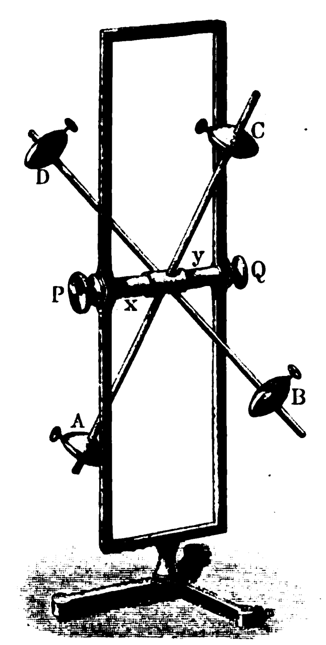


Fig. 1 (1/8 nat. Gr.)

Ferner sind die Begriffe des Trägheitsmomentes und des statischen Moments oder Drehungsmomentes[1]), deren Werte die Schwingungsdauer des physischen Pendels bedingen, so wichtig, dass man gern die Gelegenheit benutzen wird, ihre Bedeutung für Schwingungsbewegungen an diesem Beispiel darzuthun.

Um den Einfluss dieser Grössen auf die Schwingungsdauer einzeln darzustellen, habe ich einen einfachen Apparat construieren lassen, den ich als „Kreuzpendel" bezeichnen will. Dasselbe besteht, wie die beistehende Figur zeigt, aus einem Messingcylinder xy, in welchen vier Messingdrähte von etwa 20 cm Länge kreuzförmig eingesetzt sind. Auf denselben sind vier gleich grosse Gewichte A, B, C, D von 140 g verschiebbar und durch kleine Schrauben an den Drähten festzuklemmen. Der Cylinder ist an seinen Enden den verstellbaren Schrauben P und Q angepasst[2]).

Man kann zunächst mit diesem Apparat die verschiedenen Arten des Gleichgewichts zeigen. Bei gleichem Abstand der Gewichte von der Drehungsaxe ist das Gleichgewicht

---

[1]) Nach meiner Ansicht könnte man die Bezeichnung „statisches Moment" durch den Ausdruck: „Drehungsmoment" ersetzen.

[2]) Ich benutze das Gestell eines Pendelapparats nach Mach (Müller-Pfaundler, Lehrbuch der Physik, 9. Aufl. 1886, p. 191—192), welchem das bewegliche System angepasst worden ist.

indifferent. Ein leichter Anstoss genügt, um das System in gleichmässige langandauernde Rotation zu versetzen.

Eine kleine Senkung des Gewichtes A versetzt das bewegliche System in stabiles Gleichgewicht. Dreht man das Kreuz um 180°, so dass A nach oben kommt, so genügt, bei vorsichtiger Einstellung, die Zapfenreibung, das bewegliche System in labilem Gleichgewicht zu erhalten. Bei mässiger Erschütterung des Tisches, auf welchem der Apparat steht, fällt dasselbe in die stabile Gleichgewichtslage zurück.

Was nun die Anwendung des Apparats als physisches Pendel betrifft, so wird man zunächst nur ein Gewicht (etwa A) an dem Drahtkreuz anbringen. Die Schwingungsdauer ist klein und erreicht bei einer gewissen Entfernung des Gewichtes von der Drehungsaxe ein Minimum. Die Hinzufügung der Gewichte B und D, die immer in gleicher Entfernung von der Axe sich befinden, vergrössert die Schwingungsdauer. Durch Veränderung ihrer Entfernung von der Axe wird das Trägheitsmoment allein verändert, ohne dass das Drehungsmoment eine Veränderung erleidet.

Befestigt man das Gewicht C auf dem oberen Arm in einer Entfernung von der Drehungsaxe, welche kleiner als diejenige von A ist, so wird das Drehungsmoment sehr klein. Versetzt man C an die untere Stange und zwar in dieselbe Entfernung, welche es zuvor hatte, so bleibt das Trägheitsmoment des Systems unverändert, während das Drehungsmoment erheblich grösser geworden ist. Die Versuche lassen noch mannigfaltige Variationen zu, auf welche ich nicht weiter eingehen will.

Selbstverständlich kann man die Schwingungsdauer in allen Fällen, wo die vier Gewichte benutzt werden, aus der Formel:

$$T = \pi \sqrt{\frac{\vartheta + m a^2 + m c^2 + 2 m b^2}{G \cdot m (a \pm c)}}$$

berechnen. In derselben ist m das Gewicht eines der verschiebbaren Messingcylinder. Ferner sind a und c die Abstände der Schwerpunkte von A und C von der Axe, wobei das positive Zeichen gilt, wenn beide an dem unteren Arm sich befinden. Der Abstand von B und D ist b. Endlich bedeutet ϑ das Trägheitsmoment des Drahtkreuzes ohne Gewicht, vermehrt um die Trägheitsmomente der vier Gewichte in Bezug auf Axen, welche durch ihre Schwerpunkte gehen. Bei grösseren Abständen a, b, c, ist ϑ klein im Vergleich zu ma^2 etc.

Da man aber beim Unterricht nicht immer die obige Formel durch Rechnung ableiten kann, so soll das Kreuzpendel dazu dienen, die wichtigsten Folgerungen aus derselben experimentell darzuthun. Dass sich an diese Versuche, speciell an die letzte Formel, mancherlei hübsche Rechenaufgaben anknüpfen lassen, sei noch zum Schluss bemerkt; unter anderen lässt sich die Formel als quadratische Gleichung in Bezug auf a oder c für ein gegebenes T benutzen.

2. Vorrichtung für das Mitschwingen zweier Pendel.

1. Um die Grundgesetze des Mitschwingens oder der Resonanz aus einfachen Vorlesungsversuchen entwickeln zu können, habe ich die folgende Anordnung getroffen.

An einer rechteckigen eisernen Stange (s. die beistehende Figur), welche von 2 Eisenstäben getragen wird, sind zwei verschiebbare Messinghülsen angebracht, welche Lager für die Schneiden der beiden Pendel tragen. Dieselben bestehen aus Stahlstangen, an denen zwei linsenförmige Messinggewichte festgeschraubt werden können.

Die Gewichte können verstellt und dadurch die Schwingungszeiten der Pendel verändert werden.

Um nun das eine Pendel durch die Schwingungen des anderen ebenfalls in periodische Bewegung zu versetzen, muss zwischen denselben eine mechanische Verbindung hergestellt werden. Man kann hierzu sehr verschiedenartige Mittel benutzen. Es genügt schon, einen halbkreisförmig gebogenen Draht an den beiden Pendelstangen zu befestigen.



Die Biegung desselben wird während der Schwingungen der Pendel grösser und kleiner und bewirkt eine veränderte Spannung zwischen den beiden Punkten. Ebenso kann man Drahtspiralen zwischen denselben anbringen. Noch zweckmässiger ist es, einen Faden an den Pendeln zu befestigen, der, wie die Figur zeigt, durch ein kleines Gewicht gespannt wird. Endlich kann dafür eine leichte Metallkette angehängt werden. Um irgend eine dieser Vorrichtungen bequem anbringen zu können, befinden sich an den Pendelstangen zwei kleine Klemmschrauben, welche auf denselben verschiebbar sind[3]).

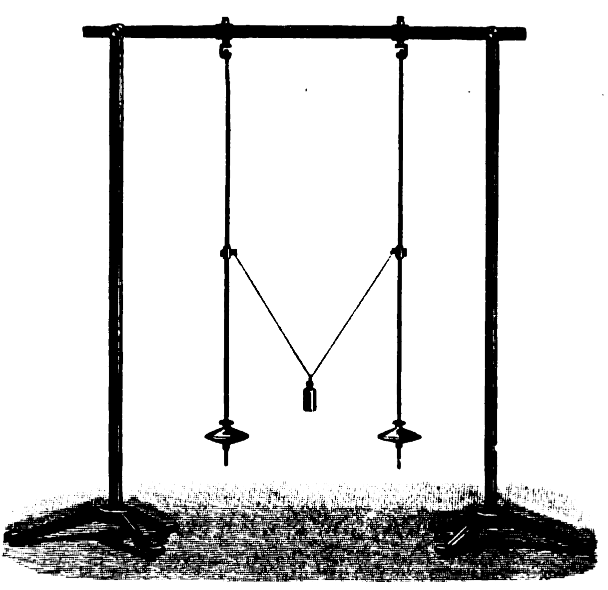


Fig. 2 (1/20 nat. Gr.)

Die Intensität der Wechselwirkung der beiden Pendel kann durch Verschiebung der Schrauben verändert werden, da das hier in Betracht kommende Drehungsmoment von der Länge der Hebelarme abhängt. Ferner kann man dasselbe bei Benutzung des Fadens durch Veränderung des Gewichtes variieren. Die Versuche verlaufen nun so, wie man es nach den Principien des Mitschwingens zu erwarten hat.

2. Beide Pendel mögen zunächst gleiche Schwingungsdauer haben. Wird das eine Pendel in Schwingungen versetzt, während das andere in der Ruhelage bleibt, und dann das System sich selbst überlassen, so gerät das zweite Pendel ebenfalls in Schwingungen, deren Amplituden fortdauernd zunehmen, während dieselben bei dem ersten Pendel kleiner werden. Nach einiger Zeit ist die ganze Schwingungsenergie auf das zweite Pendel übergegangen. Hierauf kehrt sich der Vorgang um u. s. w. Man kann leicht eine grössere Anzahl (jedenfalls über 20) solcher Übertragungen beobachten. Die Zeit, welche von dem Stillstand des einen bis zum Stillstand des anderen Pendels vergeht, will ich als Übertragungsdauer bezeichnen. Dieselbe hängt von der Intensität des Übertragungsmechanismus ab. Als z. B. die Schwingungsdauer der beiden Pendel 1 sec. betrug und ein Faden mit spannendem Gewicht benutzt wurde, betrug die Übertragungszeit:

bei 20 g : 110 sec.
„ 40 „ : 60 „
„ 60 „ : 40 „

Es scheint mir nicht unwahrscheinlich, dass man die Beobachtung der Übertragungszeit zur Messung schwacher, elastischer Spannungen wird benutzen können.

3. Bisher waren zwei ganz gleiche Pendel benutzt worden. Die Messinggewichte derselben betrugen 800 g. Ein drittes ähnliches Pendel hatte eine dünnere Stahlstange und trug ein Gewicht von 350 g. Lässt man dasselbe isochron mit einem der schweren Pendel zusammenschwingen, so erfolgt die Übertragung in ganz derselben Weise. Die Amplituden des leichteren Pendels sind aber jetzt grösser, wie diejenigen des schweren. Der Vorgang ist analog dem elastischen Stoss zweier Kugeln von ungleicher Masse.

[3]) Nach der Mitteilung der hier beschriebenen Versuche machte mich Herr Professor W. Holtz auf eine Publikation von Isenkrahe (Carl's Repertorium der Physik 16, 99—118. 1880) aufmerksam. Dieselbe enthält ebenfalls Versuche über das Mitschwingen isochroner Pendel, bei welchen die Übertragung durch die Erschütterungen des Holzgestells erfolgt, an welchem die Pendel hängen. Vgl. auch die Mitteilung von W. Holtz in dieser Ztschr. H. 4, S. 164.

4. Es seien ferner die Schwingungszeiten der beiden Pendel ungleich. Hierzu wurden wieder die beiden schweren Pendel benutzt; das Messinggewicht des einen lag aber höher, als dasjenige des andern.

Wird Pendel I in Schwingungen versetzt, während Pendel II ruht, so gerät zwar letzteres auch in Schwingungen. Die Schwingungsamplituden nehmen aber nach kurzer Zeit wieder ab. Pendel II kommt wieder zur Ruhe. Die Schwingungsbewegung beginnt auf's Neue u. s. w. Währenddessen haben die Schwingungsamplituden von Pendel I nur kleine Grössenschwankungen erfahren. Es geht daher nur ein geringer Teil der Schwingungsenergie an das zweite Pendel über. Als z. B. die Schwingungsdauer des einen Pendels 1 sec., diejenige des andern 0,87 sec. betrug und das erste Pendel in Bewegung gesetzt wurde, nahm das zweite Pendel zwar etwas an den Schwingungen Teil, aber es kam stets in Zeiträumen von 13 bis 16 sec. wieder zur Ruhe.

5. Die beschriebenen Versuche unterscheiden sich von den akustischen Resonanzerscheinungen dadurch, dass sie sehr langsam verlaufen und auf diese Weise alle Einzelheiten des Vorgangs erkennen lassen, ferner dadurch, dass die Dämpfung der Schwingungen sehr gering ist. Deutlich treten die folgenden Hauptgesetze der beschriebenen Erscheinungen hervor:

a) Eine Übertragung von Schwingungsenergie bei zwei mechanisch verbundenen Systemen findet stets statt.

b) Dieselbe ist aber nur dann eine vollständige (Austausch der Energieen in bestimmten Intervallen), wenn die Schwingungszeiten der beiden Pendel übereinstimmen.

c) Je mehr die Zeiten der beiden Einzelschwingungen von einander verschieden sind, um so geringer ist die übertragene Energie.

Bei den akustischen Resonanzerscheinungen entziehen sich die Bewegungen in dem letzten Fall meist wegen der starken Dämpfung der Beobachtung. Eine Reihe bemerkenswerter Beispiele und die allgemeinen Gesetze solcher Bewegungen hat E. Warburg in einer Abhandlung „Über tönende Systeme“[4]) gegeben.

Die hier beschriebenen Versuche lassen sich mathematisch verfolgen. Man kann dabei sehr einfache Annahmen zu Grunde legen, sodass man im wesentlichen das folgende Problem zu behandeln hat.

Zwei Punkte A und B seien fähig, Schwingungen um zwei bestimmte Gleichgewichtslagen (A_0 und B_0) in der Richtung ihrer Verbindungslinie auszuführen. Von A_0 und B_0 aus wirken demnach anziehende Kräfte, proportional der Entfernung, auf A und B.

Ferner mögen sich die beiden Punkte A und B anziehen oder abstossen, je nachdem ihre Entfernung grösser oder kleiner als eine gewisse mittlere Entfernung A_0B_0 ist. Diese Kraftwirkung sei der Differenz der Entfernungen $AB - A_0B_0$ proportional. Hiernach sind die Beziehungen der Punkte zu einander ungefähr so gewählt, wie man sie sich zwischen den Molekülen denken kann, um das langsame Fortschreiten einer Schwingungsbewegung durch eine Punktreihe (wie z. B. bei der Wärmeleitung) zu erklären.

Nach den gemachten Annahmen sind die Bewegungsgleichungen für die beiden Punkte:

$$m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} = -a_1^2 x + b^2 (y - x), \qquad m_2 \frac{d^2 y}{dt^2} = -a_2^2 y + b^2 (x - y).$$

Setzt man

$$\frac{a_1^2 + b^2}{m_1} = \alpha^2, \qquad \frac{a_2^2 + b^2}{m_2} = \beta^2,$$

und

$$\frac{b^2}{m_1} = \varkappa^2, \quad \frac{b^2}{m_2} = \lambda^2, \quad \text{also: } \frac{\lambda}{\varkappa} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}},$$

so erhält man:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha^2 x - \varkappa^2 y = 0, \qquad \frac{d^2 y}{dt^2} + \beta^2 y - \lambda^2 x = 0.$$

---

[4]) Poggendorfs Annalen 136, 89—102.

Die allgemeinen Lösungen dieser Gleichungen sind:

$$x = A\cos(\sigma_1 t) + B\sin(\sigma_1 t) + C\cos(\sigma_2 t) + D\sin(\sigma_2 t).$$

$$y = \gamma_1 \left\{A\cos(\sigma_1 t) + B\sin(\sigma_1 t)\right\} + \gamma_2 \left\{C\cos(\sigma_2 t) + D\sin(\sigma_2 t)\right\}.$$

In denselben ist:

$$\sigma^2 = \frac{\alpha^2 + \beta^2}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\varkappa^2\lambda^2}, \quad \gamma = \frac{\alpha^2 - \beta^2 \pm \sqrt{(\alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\varkappa^2\lambda^2}}{2\varkappa^2}.$$

Der Index 1 bei σ und γ entspricht dem oberen, der Index 2 dem unteren Vorzeichen. Um die allgemeinen Lösungen den angestellten Versuchen anzupassen, kann man annehmen, dass für $t = O$:

$$x = a, \quad \frac{dx}{dt} = 0; \qquad y = 0, \quad \frac{dy}{dt} = 0.$$

Dann ist:

$$x = \frac{a}{\gamma_2 - \gamma_1}\left\{\gamma_2\cos(\sigma_1 t) - \gamma_1\cos(\sigma_2 t)\right\},$$

$$y = \frac{a\gamma_1\gamma_2}{\gamma_2 - \gamma_1}\left\{\cos(\sigma_1 t) - \cos(\sigma_2 t)\right\}.$$

Die Bewegungen der beiden Punkte bestehen daher aus zwei Schwingungsbewegungen. Die Schwingungszeiten derselben hängen von den Einzelschwingungen und von der Wirkung des Mechanismus ab.

Von besonderem Interesse sind nun die folgenden beiden, speciellen Fälle:

I. Die Schwingungen der beiden Punkte ohne gegenseitige Beeinflussung mögen gleiche Zeitdauer haben. Ferner sei diejenige Kraft, welche von der ursprünglichen Gleichgewichtslage ausgeht, erheblich grösser als die von der Wechselwirkung der Punkte herrührende Kraft. Es sei also:

$$\alpha = \beta, \text{ ferner } \alpha \text{ gross im Vergleich zu } \varkappa \text{ und } \lambda.$$

Dann ist:

$$\gamma_1 = \frac{\lambda}{\varkappa}, \quad \gamma_2 = -\frac{\lambda}{\varkappa},$$

und angenähert:

$$\sigma_1 = \alpha - \frac{\varkappa\lambda}{2\alpha}, \quad \sigma_2 = \alpha + \frac{\varkappa\lambda}{2\alpha}.$$

Also:

$$x = \frac{a}{2}\left\{\cos(\sigma_1 t) + \cos(\sigma_2 t)\right\}, \qquad y = \frac{a}{2}\,\frac{\lambda}{\varkappa}\left\{\cos(\sigma_1 t) - \cos(\sigma_2 t)\right\}.$$

Die Schwingungen der beiden Punkte setzen sich also aus zwei Einzelschwingungen zusammen, deren Dauer bei der einen grösser, bei der andern kleiner ist, als die den nicht mit einander verbundenen Punkten zukommende Schwingungszeit. Man kann auch schreiben:

$$x = a\cos\left(\frac{\varkappa\lambda}{2\alpha}t\right)\cos(\alpha t), \qquad y = a\frac{\lambda}{\varkappa}\sin\left(\frac{\varkappa\lambda}{2\alpha}t\right)\sin(\alpha t).$$

Setzt man noch:

$$\alpha = \frac{\pi}{T}, \quad \frac{\varkappa\lambda}{\alpha} = \frac{\pi}{\vartheta},$$

so ist ϑ die zuvor als Übertragungsdauer bezeichnete Zeit. Fasst man als Amplituden der Einzelschwingungen der beiden Pendel die Ausdrücke

$$a\cos\frac{\pi t}{2\vartheta} \quad \text{und} \quad a\frac{\lambda}{\varkappa}\sin\frac{\pi t}{2\vartheta}$$

auf, so sieht man, dass dieselben in Intervallen von ϑ ihre grössten und kleinsten Werte annehmen. Bei dieser Auffassung des Vorgangs kann man sagen: die Punkte vollführen

demnach ihre Schwingungen in der ihnen eigentümlichen Schwingungszeit T, die durchschnittliche lebendige Kraft ihrer Bewegungen verändert sich wie die Ausdrücke

$$\sin^2 \frac{\pi t}{2\vartheta} \quad \text{und} \quad \left(\frac{\lambda}{\varkappa}\right)^2 \cos^2 \frac{\pi t}{2\vartheta}.$$

Wie oben bemerkt ist $(\lambda/\varkappa) = \sqrt{m_1/m_2}$. Die Amplituden des leichteren Pendels sind demnach grösser als diejenigen des schwereren und verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Massen. Sind die beiden Massen gleich, so ist $\lambda = \varkappa$.

II. Die Eigenschwingungen der beiden Massenpunkte seien so sehr von einander verschieden, dass $(\alpha^2 - \beta^2)^2$ gross ist im Vergleich zu $4\varkappa^2\lambda^2$.

Dann ist in erster Annäherung:

$$\sigma_1 = \beta, \quad \sigma_2 = \alpha.$$

Die Schwingungsbewegung des zum Mitschwingen erregten Punktes ist:

$$y = \frac{a\lambda^2}{\alpha^2 - \beta^2} \left\{\cos\beta t - \cos\alpha t\right\}.$$

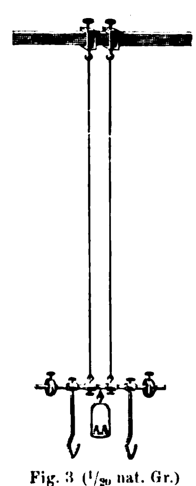
Dieselbe besteht also aus zwei übereinander gelagerten Bewegungen mit den Schwingungszeiten der beiden Einzelschwingungen. Die Amplitude derselben bleibt aber stets erheblich kleiner als die erste Amplitude a des erregenden Punktes. Ferner stören sich dieselben gegenseitig, so dass der erregte Punkt in kurzen Intervallen immer wieder zur Ruhe kommt.

Hiernach werden die beobachteten Erscheinungen in ihren Hauptzügen durch die mitgeteilte Rechnung wiedergegeben.

3. Eine Bifilarsuspension für Vorlesungszwecke.

Während früher die Bifilarsuspension fast nur bei dem Gauss'schen Bifilarmagnetometer Anwendung fand, hat F. Kohlrausch[5]) dieselbe neuerdings mit Erfolg zu „absoluten Messungen, insbesondere zur Bestimmung der erdmagnetischen Horizontalintensität" benutzt.

Hiernach dürfte wohl die Besprechung der Bifilarsuspension in der Vorlesung über Experimental-Physik notwendig, im Schulunterricht jedenfalls recht wünschenswert sein. Dieselbe liefert ausserdem ein gutes Beispiel eines pendelartigen Apparats, bei welchem die Begriffe des Drehungsmomentes und des Trägheitsmomentes und die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von denselben erörtert werden können.


Fig. 3 (1/20 nat. Gr.)

Für Vorlesungszwecke recht geeignet scheint mir die folgende Form der Bifilarsuspension. An dem in No. 2 beschriebenen Stativ sind zwei Messinghülsen angebracht, welche gegen einander verschoben und durch Schrauben festgeklemmt werden können. An zwei Ösen können die Fäden oder Drähte befestigt werden, an denen das bewegliche System hängt.

Dasselbe besteht zunächst aus einem etwa 30 cm langen, cylindrischen Messingstab, auf welchem zwei kleine Hülsen zur Aufnahme der Fäden angebracht sind. Auch diese sind verschiebbar, so dass man die Abhängigkeit des Drehungsmomentes von dem oberen und unteren Fadenabstand demonstrieren kann. Die Stange kann mit den in No. 2 beschriebenen Messinggewichten versehen werden, durch deren Verschiebung das Trägheitsmoment verändert wird. An einem Haken in der Mitte der Stange kann eine Schale zur Aufnahme von Gewichten angehängt werden. Die Veränderungen der

5) Wiedemanns Annalen 17, p. 737—772. Man findet dort historische Notizen über die Bifilarsuspension und eine ausführliche Theorie derselben.

Schwingungsdauer des beweglichen Systems zeigen dann den Einfluss der beschriebenen Veränderungen an dem Apparat auf das Drehungsmoment, wobei die Formeln:

$$T = \pi \sqrt{\frac{\vartheta}{D}}, \qquad D = \frac{P.\, e_1 e_2}{4h}$$

in Betracht kommen. Hierin ist D das Drehungsmoment, P das Gewicht des Systems, e_1 und e_2 die oberen und unteren Fadenabstände, h die Länge derselben.

Schliesslich können an der Stange zwei Messingstäbe mit umgebogenen Enden angebracht werden, in welche man Magnetstäbe oder durch Reibung elektrisch gemachte Stäbe legen kann, um die anziehenden oder abstossenden Wirkungen angenäherter Körper auf dieselben zu zeigen[6]).

Physikalische Aufgaben.

1. An einem kleinen Ringe sind drei in einer vertikalen Ebene verlaufende Fäden befestigt. Von diesen ist einer durch ein Gewicht a gespannt, die beiden andern sind über je eine Rolle geführt und jenseits derselben mit den Gewichten b und c belastet. Wenn die Lage und der Radius der um feste Axen drehbaren Rollen gegeben ist, die Gleichgewichts-Lage des Ringes zu construieren (Apparat für das Kräfteparallelogramm).

Auflösung: Man construiere in der Ebene der Fäden aus den Seiten a, b, c ein Dreieck, sodass die Seite a vertikal sei, und ziehe an den obern Umfang der beiden Rollen Tangenten, welche den Seiten b und c parallel sind. Der Schnittpunkt derselben ist der gesuchte Punkt.

2. An einem horizontalen Balken ist mittelst einiger äquidistanter Messingspiralen ein horizontal schwebender Messingstab symmetrisch aufgehängt. Die Anzahl der Spiralen sei ungerade ($= 2n + 1$), ihre Elasticität sei derartig, dass jede einzelne, mit 1 g belaset, sich um 1 cm verlängere. Wie ändert sich die Lage des Stabes, wenn man an demselben eine Masse von M Gramm, die erheblich kleiner sei als seine eigne Masse, in dem Endpunkt einer beliebigen Spirale, etwa der $m$ten von der Mitte aus, befestigt?

Auflösung: Die mittelste Spirale dehne sich um x cm aus, die nächste auf der Seite der Last um $x + y$, also auf der anderen um $x - y$, endlich die äussersten um $x + ny$ und $y - ny$. Dann ist die Summe aller Verlängerungen $(2n + 1)x$, dies ist auch der Gesamtzug, also

$$(2n + 1)x = M.$$

Betrachtet man die Mitte des Stabes als Drehpunkt eines Hebels, so ist die Bedingung für das Gleichgewicht desselben:

$$n(x + ny) + \cdots + 2(x + 2y) + 1(x + y) - 1(x - y) - 2(x - 2y) - \cdots - n(x - ny) = mM,$$

$$2y(1^2 + 2^2 + \cdots + n^2) = mM,$$

$$y = \frac{3m}{n(n+1)(2n+1)} M.$$

3. Die Abweichung frei fallender Körper von der Vertikalen für einen Ort am Äquator zu bestimmen.

Auflösung: Die Winkelgeschwindigkeit der Erde sei $\vartheta (= 2\pi/86164)$. Ein Stein falle von einem Turm von der Höhe h herab, dessen Spitze bei Beginn des Falles den absoluten Ort A, bei Beendigung desselben den Ort A' haben möge, während B und B' entsprechend den Ort seines Fusspunkts bezeichnen.

Bliebe die Richtung der Schwerkraft in bezug auf den absoluten Raum beständig ihrer anfänglichen Richtung AB parallel, so befände sich der Stein immer auf einer von der augenblicklichen Spitze des Turms zu AB gezogenen Parallelen, also schliesslich da,

[6]) Vergleiche Weinhold, Physikalische Demonstrationen 1881, p. 492.

wo die von A' gezogene Parallele den Ort des Äquators schneidet. Ist dieser Punkt C, so ist die östliche Abweichung $B'C$, sie erscheint von A' aus unter dem Winkel $\vartheta \,.\, t$, ihr Betrag wäre also $= \vartheta \,.\, t \,.\, h$, er könnte dem Unterschiede der Geschwindigkeiten zugeschrieben werden, welche die Spitze und der Fuss des Turmes infolge der Erdrotation besitzen.

Hätte dagegen die Schwerkraft während des Falles beständig schon diejenige Richtung, $A'B'$, die ihr thatsächlich erst zuletzt zukommt, so befände sich der Stein immer auf einer von der jedesmaligen Spitze des Turmes zu $A'B'$ gezogenen Parallelen, fiele also in B' ohne Abweichung nieder.

Der wahre Wert muss zwischen diesen beiden Grenzen liegen. Man kann die allmähliche Änderung in der Richtung der Schwerkraft so darstellen, dass man zu ihrem ursprünglichen Werte eine senkrechte, in der Äquatorebene liegende Componente hinzufügt, die zu der beliebigen Zeit t die Beschleunigung $\vartheta t \,.\, g$ nach Westen erteilen müsste. Es ist leicht zu zeigen, dass eine solche in t Secunden die Geschwindigkeit $\frac{1}{2}\vartheta g t^2$ erzeugt und eine Verschiebung um die Strecke $\frac{1}{6}\vartheta g t^3 = \frac{1}{3}\vartheta t h$ bewirkt.

Hiernach ist die aus der ersten Betrachtung gefolgerte östliche Abweichung $\vartheta t h$ um $\frac{1}{3}$ ihres Wertes zu verringern, die wahre Abweichung also $= \frac{2}{3}\vartheta t h$. Diesen Ausdruck hat zuerst Gauss, veranlasst durch Benzenberg's Versuche, aus den Gleichungen der Mechanik abgeleitet.

M. Koppe.

---

4. Zwei Metallstreifen, die bei der Temperatur 0° gleiche Länge l, geringe Dicke d, Breite b haben, sind längs der Fläche lb zu einem Streifen fest verbunden. Wegen der Verschiedenheit ihrer Ausdehnungskoefficienten $\alpha\alpha'$ krümmt sich bei der Erwärmung auf t^0 der aus ihnen gebildete Doppelstreifen. Die in der gemeinschaftlichen Grenzebene beider Streifen gelegene Längsachse des Doppelstreifens kann dann als ein Kreisbogen betrachtet werden, dessen Radius R, dessen Centriwinkel γ sei, und die Längsachsen der Einzelstreifen gestalten sich zu concentrischen Bögen mit den Radien $R \pm \frac{1}{2}d$. Wie gross sind R, γ, sowie die Pfeilhöhe des Bogens?

Auflösung: Man hat zur Bestimmung von R und γ die Gleichungen

$$l(1 + \alpha t) = \frac{2\pi\gamma}{360} \cdot \left(R + \frac{d}{2}\right), \quad l(1 + \alpha' t) = \frac{2\pi\gamma}{360} \cdot \left(R - \frac{d}{2}\right).$$

G. Helm, Dresden.

[Bei dieser Auflösung, die für den Standpunkt von Sekunda berechnet ist, sind absichtlich die elastischen Kräfte ausser Acht gelassen, welche bei der Erwärmung des Streifens in Wirkung treten. Wie bei Berücksichtigung dieser Kräfte die Aufgabe zu behandeln ist, wird in dem Zusatz zur folgenden Aufgabe gezeigt, welcher der Vollständigkeit wegen Aufnahme findet, obwohl die Lösung in der dort gegebenen Form über die Grenzen des Schulunterrichts hinausgeht.]

5. Drei Metallstreifen von gleichen Dimensionen seien zu einem Stabe von dreifacher Dicke fest vereinigt. Welche Veränderungen erleidet dieser durch Erwärmung, wenn die äusseren Streifen aus Zink bestehen, der mittlere aus Eisen?

Auflösung: Die drei Streifen mögen bei 0° genau gleiche natürliche Länge ($= 1$) haben, der Ausdehnungscoefficient der äusseren sei $= a$, des inneren $= \alpha$. Das eine Ende des Stabes sei in einen Schraubstock fest eingespannt. Bestände zwischen den drei Streifen noch kein fester Zusammenhang, so würden bei Erwärmung auf 1° C. die Metallteile an den Berührungsflächen über einander hingleiten, die freien Endflächen würden um a, resp. α vordringen, also nicht mehr in einer Ebene liegen. Die feste Verbindung bewirkt einen Ausgleich, so dass sich alle drei Streifen um dieselbe Strecke u verlängern. Hierdurch erscheinen die äusseren Längsfasern gegen ihren natürlichen Zustand um die Strecke $(a - u)$ verkürzt, die inneren um $(u - \alpha)$ verlängert; sind e und ε die Elasticitätsmoduln, so suchen sich jene für die Einheit des Querschnitts mit der Kraft $e(a - u)$ auszudehnen, diese mit der Kraft $\varepsilon(u - \alpha)$ zusammenzuziehen. Durch einen beliebigen Querschnitt zerfällt der

Stab in zwei Teile, von denen der eine durch äussere Kräfte festgehalten wird, während der andere nur der Einwirkung der an der Trennungsfläche wirksamen Molecularkräfte unterliegt. Die letztern bestehen in den eben abgeleiteten Zug- und Druckkräften. Soll nun der Zustand des Stabes ein dauernder sein, so müssen dieselben im Gleichgewicht stehen, also ist

$$2e(a-u) = \varepsilon(u-\alpha), \qquad u = (2ea + \varepsilon\alpha)/(2e+\varepsilon).$$

Für $a = 29 \,.\, 10^{-6}$, $\alpha = 12 \,.\, 10^{-6}$, $e = 8700$, $\varepsilon = 19000$ wird $u = 20 \,.\, 10^{-6}$.

Zusatz: Ein gerader Metallstab, der nur aus zwei Streifen von Zink und Eisen zusammengesetzt ist, krümmt sich bei der Erwärmung. Diese etwas weniger einfache Erscheinung lässt sich auf denselben Grundlagen wie die eben gelöste Aufgabe mathematisch behandeln.

Denkt man sich die beiden Streifen vorläufig nur an dem einen Ende durch Einspannen in einen Schraubstock fest verbunden, so werden sie sich bei Erhöhung der Temperatur frei ausdehnen, wobei ihre sich berührenden Flächen über einander hingleiten. Werden nun beide Streifen nach der Seite des Eisens durch eine äussere Kraft gleichförmig gekrümmt, so dehnen sich an jedem die äusseren Fasern und verkürzen sich die inneren, es lässt sich daher ein Zustand erreichen, bei welchem die sich berührenden Streifen an der Berührungsfläche gleich lange Fasern aufweisen. Stellt man jetzt den festen Zusammenhang beider Streifen in dem freien Endpunkt und in den Zwischenpunkten wieder her, so hat man diejenige Gestalt des Doppelstreifens, welche bisweilen als Lösung der Aufgabe betrachtet wird (vgl. Budde, Aufgabensammlung, No. 459). Diese Gestalt ist aber nicht die definitive. Beide Streifen haben jetzt, sich selbst überlassen, das Bestreben, sich der erzwungenen Krümmung zu entledigen, sie werden sich zurückbiegen, bis die dadurch bedingte Veränderung der elastischen Kräfte das Gleichgewicht herstellt. Sind a und α die Ausdehnungs-Coefficienten, b und β die Dicken des Zink- und des Eisen-Streifens, bilden endlich zwei im Abstande 1 von einander gedachte Querschnitte nach der Erwärmung den Winkel φ, so führt die unvollkommene Theorie auf die Gleichsetzung von $1 + a - {}^1/_2 b\varphi$ und $1 + \alpha + {}^1/_2 \beta\varphi$, woraus

$$\varphi = 2\,\frac{a-\alpha}{b+\beta}\,.$$

Die wahre Gestalt des erwärmten Doppelstreifens lässt sich nur unter Hinzuziehung der Elasticitäts-Moduln (e und ε) bestimmen. Wir zerlegen den geradlinigen Doppelstreifen in sehr viele parallele Längsfasern und nehmen an, dass diese bei der Erwärmung in Kreisbogen übergehen und dass die ursprünglich gelegten Querschnitte dauernd zur Richtung der Fasern senkrecht bleiben. Der betrachtete Teil des Doppelstreifens habe die Länge 1. Steigt die Temperatur um 1°, so mögen die Grenzfasern — an der Berührungsfläche von Zink und Eisen — die Länge $1 + u$ annehmen und sich so krümmen, dass die beiden äussersten Querschnitte den Winkel φ bilden. Eine im Abstande z von der Grenzfläche befindliche Faser des äusseren Streifens (Zink) müsste jetzt die Länge $1 + a$ haben, wenn sie frei wäre, hier ist aber ihre Länge thatsächlich gleich derjenigen der Grenzfaser vermehrt um $z \,.\, \varphi$ — wegen des um z grösseren Krümmungsradius — d. h. sie ist $= 1 + u + z\varphi$, also gegen ihren natürlichen Zustand um $(u + z\varphi - a)$ zu lang, sie sucht sich deshalb für jede Einheit ihres Querschnitts mit der Kraft $e(u + z\varphi - a)$ wieder zusammenzuziehen.

Teilt man den gekrümmten Doppelstreifen durch einen beliebigen Querschnitt in zwei Teile, von denen der eine durch äussere Kräfte festgehalten wird, so wirken auf den zweiten die molecularen Zug- und Druckkräfte der einzelnen Fasern. Da er trotzdem sich weder verschiebt noch dreht, so gelten die Gleichgewichtsbedingungen:

$$e\int_0^b (u - a + \varphi z)\,dz + \varepsilon\int_{-\beta}^0 (u - \alpha + \varphi z)\,dz = 0,$$

$$e\int_0^b (u - a + \varphi z)\,z\,dz + \varepsilon\int_{-\beta}^0 (u - \alpha + \varphi z)\,z\,dz = 0.$$

In der zweiten ist als Axe der möglichen Drehung die Gerade angesehen, in welcher der angenommene Querschnitt von der Grenzfläche geschnitten wird. Durch Ausführung der Summationen folgt:

$$(eb + \varepsilon\beta)\,u + \tfrac{1}{2}(eb^2 - \varepsilon\beta^2)\,\varphi = eab + \varepsilon\alpha\beta,$$
$$\tfrac{1}{2}(eb^2 - \varepsilon\beta^2)\,u + \tfrac{1}{3}(eb^3 + \varepsilon\beta^3)\,\varphi = \tfrac{1}{2}(eab^2 - \varepsilon\alpha\beta^2),$$

woraus

$$((eb^2 - \varepsilon\beta^2)^2 + 4eb\varepsilon\beta(b + \beta)^2)\,.\,\varphi = 6eb\varepsilon\beta(a - \alpha)(b + \beta).$$

Die Krümmung für einen Doppelstreifen von gegebener Dicke $(b + \beta)$ wird am stärksten, wenn $eb^2 - \varepsilon\beta^2 = 0$ ist, dann werden die obigen Gleichungen sehr einfach und ergeben

$$\varphi = \frac{3}{2}\,\frac{a - \alpha}{b + \beta}, \quad u = \frac{a\beta + \alpha b}{b + \beta}.$$

Hierdurch wird bestätigt, dass sich φ nach der unvollkommenen Theorie zu gross ergiebt.

M. Koppe.

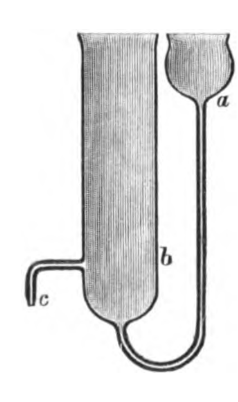
Kleine Mitteilungen.

Diffusion einer Salzlösung.

Von Professor Dr. **A. Weinhold** in Chemnitz.

Die Diffusion einer Salzlösung gegen Wasser lässt sich recht gut und in verhältnismässig sehr kurzer Zeit sichtbar machen bei Anwendung von Kaliumchromat (gelbem, einfach chromsaurem Kalium) und unter Benutzung eines von Uppenborn zur Herstellung einer scharfen Trennungsfläche der verschiedenen Flüssigkeiten bei einem Normalelement angewandten Verfahrens.

Die Figur zeigt den hierzu dienenden Apparat. Ein cylindrisches Glasgefäss communiciert durch ein starkwandiges, aber nur 1 mm weites Rohr mit einem Trichter und ist an seinem unteren Teile mit einem gleich engen, starkwandigen Abflussrohr *c* versehen.



Man steckt an *c* ein kurzes Stückchen Kautschuckschlauch, verschliesst dieses durch einen Quetschhahn, füllt das in einem Halter befestigte Gefäss bis *a* mit Wasser, so dass letzteres in dem engen Rohre bis oben an den Trichter steigt und giesst nun durch den Trichter soviel einer (nahezu gesättigten) Lösung von 3 Gewichtsteilen Kaliumchromat in 5 Gewichtsteilen Wasser zu, dass die durch das enge Rohr langsam nach dem weiteren Gefässe fliessende Lösung in diesem bis *b* steigt, also wenig höher als die Ansatzstelle von *c*. (Dabei hat man darauf zu achten, dass das Zugiessen der Lösung ohne Unterbrechung geschieht; hört man zu früh mit dem Zugiessen auf, so sinkt die schwere Lösung in dem engen Rohre bis unter das untere Ende des Trichters und wenn man dann von neuem zugiesst, so wird im engen Rohre eine Luftblase abgesperrt und nach dem weiteren Gefässe geführt, in welchem aufsteigend sie eine Vermischung des Wassers und der Chromatlösung bewirkt. Durch Einschalten eines Glashahnes in das enge Rohr könnte man ein Absperren dieses Rohres behufs Verhinderung des Sinkens des Flüssigkeitsspiegels in diesem Rohre ermöglichen; man könnte auch *c* mit einem Glashahn, anstatt des Quetschhahns versehen; durch diese Hähne würde aber der Apparat unnötigerweise teurer und zerbrechlicher werden.)

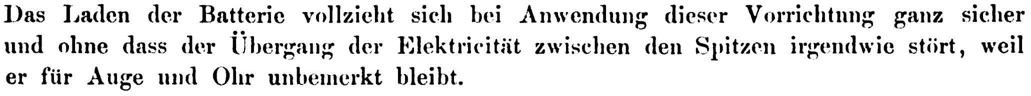
Die langsam von unten zutretende, gelbe Lösung mischt sich nur wenig mit dem leichteren Wasser; lässt man, nachdem die Lösung bis *b* gestiegen ist, aus *c* so lange Flüssigkeit ausfliessen, bis das Abfliessende farblos ist, so erhält man eine vollkommen scharfe Trennungsfläche zwischen Wasser und Chromatlösung. Wird jetzt die Vorrichtung sich selbst überlassen, so macht sich die Diffusion sehr bald bemerklich; die scharfe Trennungsfläche geht innerhalb weniger Minuten in eine fast undurchsichtige Zone von

merklicher Breite über, welche natürlich aus einer stetigen Folge verschieden concentrierter Lösungsschichten besteht[1]); die Breite der Mischzone nimmt mit der Zeit immer mehr zu, und nach etwa einer Stunde kann man in der heller gewordenen Zone die Verschiedenheit der Concentration an der von unten nach oben abnehmenden Sättigung der Färbung erkennen; die Färbung erstreckt sich dann schon bis zu beträchtlicher Höhe über *c*.

Batterieladung mittels der Influenzmaschine.

Von Professor Dr. **A. Weinhold** in Chemnitz.

Influenzmaschinen, welche nur durch Spitzenwirkung, nicht durch Berührung wirken, also Influenzmaschinen, welche nicht selbsterregend sind, wirken verhältnismässig schwach oder geraten wol gar ausser Wirkung, solange ihre Conductoren nur eine minimale Spannungsdifferenz besitzen[2]). Da bei der Ladung grosser Batterien der Spannungsunterschied nur sehr langsam wächst, wenn die Conductoren der Maschine mit den Belegungen der Batterie durch gute Leiter verbunden sind, bezw. wenn der eine Conductor mit der inneren Batteriebelegung, der andere mit der Erde in gutleitender Verbindung steht, so empfiehlt es sich, um jederzeit eine gute Wirkung der Influenzmaschine zu erhalten, zwischen den einen Conductor und die Erde oder die äussere Batteriebelegung eine kleine Funkenstrecke einzuschalten, so dass die Spannung auf dem Conductor rasch eine gewisse, mässige Grösse erreicht. Dazu kann man sich zweckmässig der in der Figur in halber Grösse dargestellten Vorrichtung bedienen. Zwei starke Messingdrähte sind je an einem Ende zu Haken gebogen, welche zum Anhängen der Vorrichtung an den Influenzmaschinenconductor und zum Anhängen einer Leitungsschnur an die Vorrichtung dienen; die geraden Enden der Drähte sind zugespitzt und so in einen durchbohrten Horngummicylinder eingeschraubt, dass sie etwa 12 mm von einander abstehen.



Das Laden der Batterie vollzieht sich bei Anwendung dieser Vorrichtung ganz sicher und ohne dass der Übergang der Elektricität zwischen den Spitzen irgendwie stört, weil er für Auge und Ohr unbemerkt bleibt.

Erklärung des Fundamentalversuchs der Induktion.

Von Prof. Dr. **G. Krebs** in Frankfurt a. M.

In den Lehrbüchern der Physik findet man keine Erklärung des Fundamentalversuchs der Induktion; es wird lediglich als Thatsache hingestellt, dass beim Annähern eines stromlosen Leiters an einen stromdurchflossenen ein entgegengesetzt- und beim Entfernen ein gleichgerichteter Induktionsstrom entsteht. In den grösseren Lehrbüchern werden

[1]) Das undurchsichtige, fast schwarze Aussehen der Mischzone hat seinen Grund darin, dass in einem Mittel mit nach oben stetig und rasch abnehmendem Brechungsindex Lichtstrahlen, welche stark von der Vertikalen abweichen, eine beträchtliche Krümmung erfahren, so dass ein horizontaler Durchtritt der Strahlen durch eine solche Schicht unmöglich wird.

[2]) Verfasser kann sich mit dem Vorschlag von Poske (diese Zeitschr., Heft 3, S. 90 u. ff.), den Dechant (Wiener Zeitschr. f. d. Realschulwesen, 1888, S. 240) unterstützt — das Wort Spannung nicht für Potential zu gebrauchen —, bei aller Anerkennung der theoretischen Richtigkeit der angeführten Gründe um deswillen nicht befreunden, weil die elektrotechnische Praxis die Worte Spannung und Spannungsdifferenz so vielfach im Sinne von Potential und Potentialdifferenz gebraucht, dass es völlig aussichtslos erscheint, dagegen noch anzukämpfen; es sei nur an die Ausdrücke „Polspannung oder Klemmenspannung, Lampenspannung, Gleichspannungsmaschine, Spannungsmesser, Spannungsverlust“ u. s. w. erinnert, sowie daran, dass auch Frölich in seinem sehr verbreiteten Handbuch der Elektricität und des Magnetismus (2. Aufl., S. 8; vergl. auch die Vorrede zur ersten Auflage) Spannung für Potential gebraucht. Der als Spannung im eigentlichen Sinne zu bezeichnende Begriff ($2\pi \times$ Quadrat der Dichte) wäre dann freilich mit einem anderen Namen zu versehen — im elementaren Unterricht, wie in der elektrotechnischen Praxis kann dieser Begriff aber völlig entbehrt werden, weil die Begriffe Dichte und Potential für alle Fälle ausreichen.



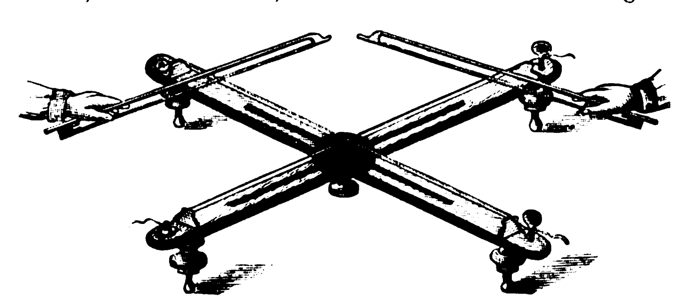
allerdings weiterhin allgemeinere Induktionsgesetze (z. B. das von Lenz) angeführt, aus denen sich der Grundversuch erklären liesse. Doch kann auch ohne dies selbst kleineren Schülern die Erklärung in einfacher, leichtverständlicher Weise gegeben werden:

Der Induktionsstrom, welcher beim Annähern eines stromlosen Leiters an einen stromdurchflossenen sich bildet, kann nur auf Kosten der Bewegung entstehen; es muss also die Bewegung gehemmt werden, und dies kann nur geschehen, wenn der sich bildende Induktionsstrom den Hauptstrom abstösst, ihm also entgegengesetzt gerichtet ist. — Beim Entfernen der Leiter von einander muss ein gleichgerichteter Induktionstrom sich bilden; indem dieser und der Hauptstrom einander anziehen, wird wiederum die Bewegung gehemmt. Bei der Erzeugung eines Induktionsstromes durch Schliessen und Öffnen des Hauptstroms wird dieser (auf dessen Kosten der Induktionsstrom entsteht) gehemmt resp. geschwächt[1]).

Ein Versuch über die Schwingungsform gestrichener Saiten.

Von Professor Dr. **E. Mach** in Prag.

Auf schwarzem Grunde ist eine weisse Saite ausgespannt und dicht darüber eine zweite, schwarze Saite, welche die erste rechtwinklig kreuzt. Werden beide Saiten zugleich angestrichen, so erhält man als Lissajous'sche Figur bei allen Phasen-Unterschieden ein schwarz auf grau erscheinendes Parallelogramm. Daraus folgt, dass die betreffende Stelle der gestrichenen Saite sich mit constanter Geschwindigkeit hin- und ebenso mit constanter (im allgemeinen anderer) Geschwindigkeit zurückbewegt. (Wären die Componenten Sinusschwingungen, so müsste die Combinationsfigur eine Ellipse sein; bei plötzlichen Änderungen der Geschwindigkeit geht diese eben in ein Parallelogramm über.) Die Schwingungsform der gestrichenen Saite ist daher eine Curve von zickzackförmiger Gestalt.



[1]) Die oben versuchte Deduktion halte ich für unzulässig. Dass der bei Bewegung des sekundären Leiters inducierte Strom nur auf Kosten der Bewegung entstehen kann, und dass die Bewegung gehemmt werden muss, das lässt sich auf die angegebene Weise nicht einsehen; es könnten z. B. wie beim Schliessen und Öffnen, so auch beim Nähern und Entfernen rein innere Veränderungen statthaben. Wenn aber auch der Schluss correkt wäre, so würde damit nur die Richtung der Induktionsströme, nicht aber der Vorgang der Induktion selbst erklärt sein. Noch weniger lässt sich einsehen, was durch den letzten Satz der obenstehenden Mitteilung für die Induktion beim Öffnen und Schliessen bewiesen sein soll. Es würde vielmehr sachlich und methodisch richtiger sein, den Induktionsvorgang als eine neue Bestätigung des induktiv zu erweiternden Energieprinzips aufzufassen, da dieses in seiner ursprünglichen Form, geschweige denn in seiner elementaren Einführung, die Erscheinungen der Induktion nicht in sich begreift. Die genannten Vorgänge sind als Thatsachen aufzufassen, die dadurch eine erhöhte Bedeutung gewinnen, dass sie sich mit dem in anderem Bereich bereits als wahr erkannten Energieprinzip in Einklang setzen lassen. Dass die Beziehung auf dieses Prinzip nicht vergessen werden sollte, hat der Herr Verfasser in dankenswerter Weise angeregt.

Auch dass sich aus dem Lenz'schen Gesetz die Induktion erklären liesse, ist nicht zuzugeben; denn ein Gesetz kann nicht zur Erklärung derselben Erscheinungen dienen, aus denen es hergeleitet wurde. Das Vertrauen in die Sicherheit des Naturerkennens beruht auf anderen Grundlagen als auf Schlüssen der hier vorgeschlagenen Art; jenes Vertrauen in den Schülern zu erwecken dürften solche Deduktionen nicht sehr geeignet sein. *P.*



Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Eine Modifikation des Foucault'schen Pendels. Den Nachteil der gebräuchlichen Demonstrations-Vorrichtung — dass der Aufhängepunkt ruht — vermeidet ein einfacher Apparat von V. L. Rosenberg (*J. d. russ. phys.-chem. Ges. XIX, 1, 7—13; 1887*). Eine hölzerne Scheibe von 10 cm Durchmesser ist in horizontaler Lage und stellbarer Höhe auf einem etwa 1 m hohen Fuss befestigt. Auf dieser Scheibe ist ein 15 cm langer drehbarer Arm A angebracht, an dessen Ende eine Bleikugel mittels eines Fadens aufgehängt ist. Wird die Kugel in Schwingungen versetzt, deren Ebene dem Arme A parallel ist, so bleibt die Schwingungsebene sich selbst parallel, wenn man den Arm A im Kreise herum führt. *B. K.*

Ein Bodendruck-Apparat. Schon vor längerer Zeit ist von G. Krebs in der *Ztschr. z. Förd. d. physik. Unterr. (I, 45; 1884)* eine sehr praktische Abänderung des Pascal'schen Apparates beschrieben worden, darin bestehend, dass der untere Rand der für die Pascal'schen Gefässe dienenden Fassung durch eine schlaffe Blase verschlossen ist, welche auf die an einem Wagbalkenende befindliche Messingplatte drückt; die Wage setzt sich in Bewegung, sobald eine gewisse Druckhöhe in den aufgeschraubten Gefässen überschritten wird. Nach demselben Prinzip ist ein neuerdings von Pellat in *Journ. de Phys. élém. III, 1, 1887* veröffentlichter Apparat construiert. Er unterscheidet sich von dem Krebs'schen nur dadurch, dass der Verschluss durch eine straffe Kautschuckmembran bewirkt ist, und dass die Deformation dieser Membran mit zunehmendem Druck direkt durch ein Hebelwerk auf einen vertikal stehenden Zeiger übertragen wird.

Ein Luft- und Äther-Thermometer hat Sydney Young in dem *Chem. News.* **56** *No. 1465 (23. Dez. 1887)* beschrieben; seine spezielle Bestimmung ist, die Temperaturänderungen des Wassers zwischen 0 und 10° sichtbar zu machen, während gleichzeitig durch einen mit Quecksilber äquilibrierten Schwimmer, der bei 4° (6°) in die Höhe steigt, das Dichtigkeitsmaximum des Wassers demonstriert wird. Als thermometrische Substanz dient Luft die mit Ätherdämpfen gemischt ist. Der Apparat besteht aus einer Glasröhre von 700 mm Länge und 2,8 mm lichtem Durchmesser; daran ist ein cylindrisches Gefäss A (wie die Fig. zeigt) von 130 mm Länge und 17 mm lichtem Durchmesser gefügt, in welchem sich die durch Äther abgesperrte Luft befindet. Im oberen Teil hat die Thermometerröhre eine Erweiterung B, die den bei höherer Temperatur austretenden Äther aufnimmt. Aus dem Volum der abgeschlossenen Luft bei 0° und den bekannten Spannungen des Ätherdampfes für jeden Temperaturgrad lässt sich der Stand des Thermometers von Grad zu Grad berechnen; einfacher ist es, die Kalibrierung empirisch auszuführen. Bei den angegebenen Dimensionen betrug die Steigung der Äthersäule von 0° bis 10° = 510 mm. Die Zunahme für 1° war zwischen 0° und 1° = 40 mm, zwischen 0° und 10° = 82 mm. Das Instrument ist vom Luftdruck abhängig, dessen Einfluss bei genauen Messungen eine Correktion erfordert, oder durch Verbindung der Röhrenöffnung mit einem Luftraum von constantem Druck abgehalten werden kann. Die Färbung des Äthers geschieht mit Anilinrot, nachdem man dem Äther ein wenig absoluten Alkohol zugefügt hat, um sein Lösungsvermögen zu vergrössern. Die Empfindlichkeit wird durch diesen geringen Zusatz nicht beeinflusst.

Ein Versuch über elektrische Abstossung. Bringt man ein Metallgefäss mit geschmolzenem Siegellack an den Conductor einer Elektrisiermaschine, so löst sich die Masse in zahlreiche feine Fäden auf, welche mit grosser Geschwindigkeit von dem Conduktor fortgeschleudert werden, so dass ein Nahestehender völlig von ihnen wie von einem Spinnwebennetz eingehüllt werden kann. C. V. Boys hat für diesen Versuch Canada-

balsam besonders geeignet gefunden. Nähert man dem Schälchen eine Flamme, so stürzen sich die Fäden gleichsam auf diese, entladen sich auch wohl und kehren wieder zur Ausgangsstelle zurück. Der Verfasser schlägt vor, dies Verhalten zum Pulverisieren von schwer zu zerkleinernden Substanzen anzuwenden. (Nach *La Nature, 16, No. 766, 1888.*)

Ein Versuch über elektrische Influenz. In den *Badischen Schulbl. 1888 No. 1* teilt O. Strack den folgenden „Schüler-Versuch" mit: Zwei Papierscheibchen von der Grösse eines Pfennigstücks werden durch einen Seidenfaden zu einem elektrischen Pendel aufgehängt. Bringt man, während die Scheibchen der ganzen Fläche nach aufeinander liegen, einen elektrischen Stab langsam in die Nähe, so verschieben sie sich derart aneinander hin, dass das eine dem Stabe sich nähert, das andere sich von ihm entfernt. Nimmt man den Stab wieder weg, so fallen sie zusammen. Die neutrale Elektricität beider Scheibchen hatte sich derart verteilt, dass das eine die positive, das andere die negative enthielt. Erhalten die Scheiben aber gleiche Elektricität, so liegen ihre Ebenen bei der Abstossung nahezu parallel zu einander. — Auch die Thatsache, dass die Scheibchen durch eine Drehung dem elektrischen Stabe ihren Rand zuwenden, ist als eine Wirkung der Influenz zu erklären.

Eine Abänderung am Quadranten-Elektrometer. Von G. Guglielmo wird in der *Riv. Scient. Industr. 1887* der beachtenswerte Vorschlag gemacht, statt der getrennten Metallquadranten eine Spiegelglasscheibe mit Stanniol (oder Silberfolie) zu bekleben, dann zwei schmale Streifen der Belegung längs zwei aufeinander senkrechten Durchmessern zu entfernen und die freigelegten Glasstreifen mit Schellack zu überziehen. Man gewinnt dadurch den Vorteil, der schwierigen Einstellung der Quadranten in eine horizontale Ebene überhoben zu sein, während sich die Glasscheibe ohne Mühe mit Hülfe einer Libelle wagerecht stellen lässt; die Kosten des Instruments dürften sich dadurch nicht unerheblich vermindern. Dass andrerseits bei ungenauer Einstellung der Quadranten die Beobachtungen mit dem Elektrometer sehr erschwert und sogar wegen inconstanter Ruhelage gradezu unbrauchbar sind, ist bekanntlich selbst bei Elektrometern aus guten Werkstätten nicht ausgeschlossen. Die vorgeschlagene Einrichtung wird sich namentlich bei schwächeren Potentialen verwenden lassen; der Verfasser erhielt von einem Daniell einen Ausschlag von 200 Teilstrichen, so dass sich die Änderungen des Potentials im Schliessungskreise eines Elements mit solcher Vorrichtung gut demonstrieren lassen werden. Die Gefahr, dass ein Teil der Ladung in das Glas eindringt, kann dadurch vermieden werden, dass man die Glasplatte auch auf der Unterseite mit Quadranten belegt; die Empfindlichkeit liesse sich bei dieser Einrichtung leicht verdoppeln, indem man auch noch eine zweite Nadel unterhalb der Quadranten anbringt. Sollte bei stärkeren Ladungen die Isolierung nicht ausreichend scheinen (die übrigens auch bei Hartgummistützen nicht vollkommen ist), so braucht man nur die Quadrantenpaare mit den Polen einer Ladungssäule zu verbinden und die an einem Platindraht aufgehängte Nadel auf das zu messende Potential zu bringen.

Eine Wheatstone'sche Brücke für Luft- und Wasserfluss. Eine ganz ähnliche Vorrichtung wie die von K. Noack in diesem Heft (S. 236) angegebene hat W. Holtz in *Wied. Ann. 29, 675 (1886)* beschrieben. Vier T-förmige Stücke aus Messingrohr sind durch ebensoviele Gummischläuche zu einem ringförmigen in sich geschlossenen Röhrensystem vereinigt. Die Mittelschenkel von zwei gegenüberliegenden Rohrstücken sind für den Zu- und Abfluss bestimmt. Die andern beiden Stücke sind durch eine Gummiröhre verbunden, die als Brückenzweig dient; in ihrer Mitte ist ein weiteres Glasrohr eingeschaltet, in welchem an zwei Coconfäden ein Scheibchen aus Papier oder Guttapercha aufgehängt ist. Die Ausschläge dieses Scheibchens zeigen Richtung und Stärke des Brückenstromes an. Auch eine Wheatstone'sche Brücke für Wärmefluss, aus Metallstäben gebildet und mit einer in den Brückenzweig eingefügten Thermosäule verbunden, hält W. Holtz für vielleicht ausführbar.



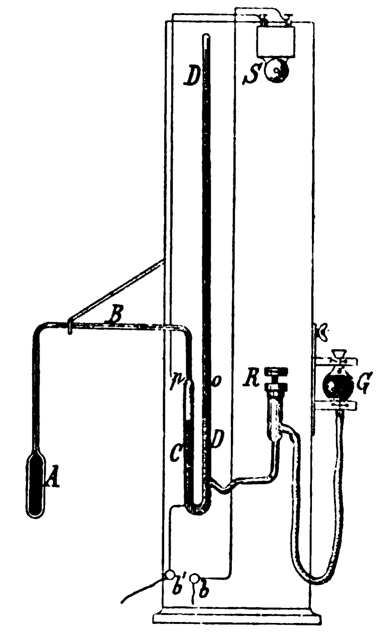
Ein Induktionskreisel. Die Entstehung Foucault'scher Ströme in einer rotierenden Scheibe unter dem Einflusse eines Magneten kann durch folgenden einfachen von G. Ch. Manet construierten Apparat in paradoxer Weise vor Augen geführt werden, ohne dass es dazu kostspieliger Einrichtungen bedarf. Eine Scheibe aus Eisenblech wird auf eine Axe gesteckt und mittels eines Fadens in kreiselartige schnelle Rotation versetzt. Die Scheibe wird in der Ruhe von einem Hufeisenmagneten angezogen; nähert man dagegen der bewegten Scheibe einen Pol des Magneten, oder auch beide zugleich, so zeigt sich eine Repulsion, infolge deren sich die Scheibe sofort an der den Magneten zugewendeten Seite senkt. Sinkt die Geschwindigkeit der Scheibe unter einen gewissen Wert, so hört die Repulsion auf und es findet einfache Anziehung statt. Hält man den Magneten nicht auf die Fläche, sondern in der Ebene der Scheibe deren Rande gegenüber, so treten die Repulsionserscheinungen nicht auf. Die Repulsion wird bei einer Kupferscheibe noch kräftiger sein, doch entfällt bei dieser die erwähnte Paradoxie. (*La Nature, 1888, No. 763.*)

Ein neues Thermoelement. Ein Übelstand der älteren Thermosäulen ist die Langsamkeit ihrer Angaben und ihrer Rückkehr zum Anfangszustand. Diesen Übelstand vermeidet C. C. Hutchins, einer Mitteilung im *Amer. J. of Sc.*, **34**, *466 (1887)* zufolge, indem er einen sehr dünnen Streifen aus zusammengelötetem Uhrfedermetall und Kupfer verwendet (1 mm breit, 0,03 m dick); dies wird zwischen die Enden zweier Kupferstäbe gespannt, die durch einen Stopfen im Innern eines 10 Zoll langen, $2^1/_2$ Zoll weiten Ebonitrohres geführt sind. Hinter dem Streifen ist ein kleiner Hohlspiegel angebracht, so dass sich die Lötstelle des Streifens in dessen Brennpunkt befindet. Die Empfindlichkeit war sehr viel grösser als die eines gewöhnlichen Thermoelements von gleicher empfangener Fläche; die Rückkehr auf Null erforderte keine längere Zeit, als die Wiedereinstellung der Galvanometernadel an sich in Anspruch nahm.

---

2. Forschungen und Ergebnisse.

Ein neues Gasthermometer. Um die Messung der Temperatur bei einem Gasthermometer unabhängig von dem barometrischen Druck zu machen, hat L. Cailletet (*C. R.*, **106**, *1055; 1888*) die Einrichtung getroffen, dass über der zur Messung des Druckes dienenden Quecksilbersäule ein Vakuum sich befindet. Ein cylindrisches Glasgefäss *A* von 25 ccm steht durch ein Capillarrohr *B* mit dem kurzen Schenkel *C* eines Manometerrohres in Verbindung, während von dem längeren Schenkel *D* eine Abzweigung nach einem vertikal verstellbaren Quecksilberbehälter *G* führt. Man stellt den letzteren so ein, dass das Quecksilber im kürzeren Manometerschenkel bis zu einem eingeschmolzenen Platindraht *P* steigt, der sich dicht vor dem Eingange des Capillarrohres befindet und bei dessen Contakt mit dem Quecksilber eine elektrische Glocke *S* in Wirkung tritt. Dann schliesst man durch einen Schraubenhahn *R* den Quecksilberzufluss zum Manometer ab und liest unmittelbar die Höhe des Quecksilbers im längeren Schenkel des Manometers ab. Der Apparat funktioniert bis auf $^1/_{600}$ der zu messenden Temperatur genau; einer Temperaturdifferenz von 1° entspricht ein Höhenunterschied von 2,36 mm. Die Methode des Platincontakts ist übrigens bereits vor 10 Jahren von Crafts (*Ann. de Ch. et Ph.* (5) **14**, *409*) zu demselben Zweck benutzt worden. Der Verfasser hat dabei die Erhitzung des Platins beim Contakt zu vermeiden gesucht (weil erhitztes Platin sich im Quecksilber auflöst) und in



neuerer Zeit (*C. R.* **106**, *No. 17, 1888*) ein Telephon zur Controlle des Stromschlusses bei ganz schwachem Strom benutzt. Um ferner die schwierige Temperaturcorrektion zu vermeiden, wurde das ganze Manometer (ausser dem Messgefäss) in Eis gestellt. Der oben erwähnte Abschluss des Quecksilbers wurde von Crafts durch einen elektromagnetisch regulierten Hahn bewirkt.

Die Messung niedriger Temperaturen. Unter den Gasen kommt das Wasserstoffgas dem Zustande eines ‚vollkommenen Gases' so nahe, dass die Angaben eines Wasserstoffthermometers unter gewöhnlichen Temperatur- und Druckverhältnissen völlig denen einer absoluten Temperaturskala entsprechen. Der Vergleich anderer Thermometer mit den Angaben des Wasserstoffthermometers ist nur für verhältnismässig hohe (absolute) Temperaturen durchgeführt; für niedrige Temperaturen erhebt sich die Schwierigkeit, dass mit der Annäherung an seinen Condensationspunkt das Gas mehr und mehr die Eigenschaft des ‚vollkommenen Gaszustandes' verliert. Die Bestimmung, bis zu welchem Punkte die Angaben dieses Thermometers noch als absolut gelten können, ist erst jetzt von L. Cailletet und E. Colardeau ausgeführt worden (*C. R. 106 No. 22. 28. Mai 1888*). Die Autoren gehen davon aus, dass als Funktion der Temperatur nicht blos die Ausdehnung, sondern auch der elektrische Widerstand, der Wärmeinhalt eines Körpers, das magnetische Moment eines Eisenstabes, der Brechungsindex, das Drehungsvermögen, die thermoelektrischen Wirkungen u. s. f. in Betracht gezogen werden können. Bezeichnet man für gewisse Temperaturen T_1 T_2 T_3 . . . des Wasserstoffthermometers die Angaben von einer Reihe von Apparaten, die auf die erwähnten Wirkungen gegründet sind, mit J_1 J_2 J_3 . . ., so wird man für jeden dieser Apparate eine Curve entwerfen können, die durch eine Gleichung $J = f(T)$ dargestellt werden kann, und die umgekehrt die Auffindung eines Wertes T zu einem beliebigen Wert von J ermöglicht. Diese Rechnung wird aber nur anwendbar sein innerhalb der Grenzen, zwischen denen das Wasserstoffthermometer wirklich die absolute Temperatur angiebt. Wird ausserhalb dieser Grenzen eine Bestimmung von T vorgenommen, so ist es möglich, dass sich bei mehreren der erwähnten Apparate ein übereinstimmendes Resultat ergiebt; die Wahrscheinlichkeit, dass die für jeden einzelnen Apparat gezogene Curve dann noch immer die absolute Temperatur bezeichnet, wird um so grösser sein, je grösser die Zahl der verglichenen Apparate und je verschiedenartiger die Natur der dabei benutzten Wirkungen ist. Auf Grund dieses Prinzipes wurden die folgenden Apparate in Anwendung gebracht: (1) Ein Wasserstoffthermometer von der vorher (S. 267) beschriebenen Form (*C. R. 106, 155; 1888*); (2) ein elektrischer Widerstand, aus einem Platindraht gebildet; (3) und (4) zwei thermo-elektrische Elemente (pinces); (5) ein Platinnetz (lingot), das auf die Beobachtungstemperatur gebracht wurde und zu einer calorimetrischen Messung diente. (Der Widerstandsdraht war 0,2 mm dick und 6 m lang, sein Widerstand betrug bei 0° 22,82 Ohm; von den Thermoelementen war das eine, nach Le Chatelier, aus Platin—Rhodiumplatin, das andere aus Eisen—Kupfer gebildet.) Als Temperaturpunkte wurden der Siedepunkt des Wassers, der Schmelzpunkt des Eises und der Siedepunkt des Methylchlorürs benutzt. Die Curven, welche sich ad 2, 3, 4, ergaben, wurden durch folgende Gleichungen wiedergegeben

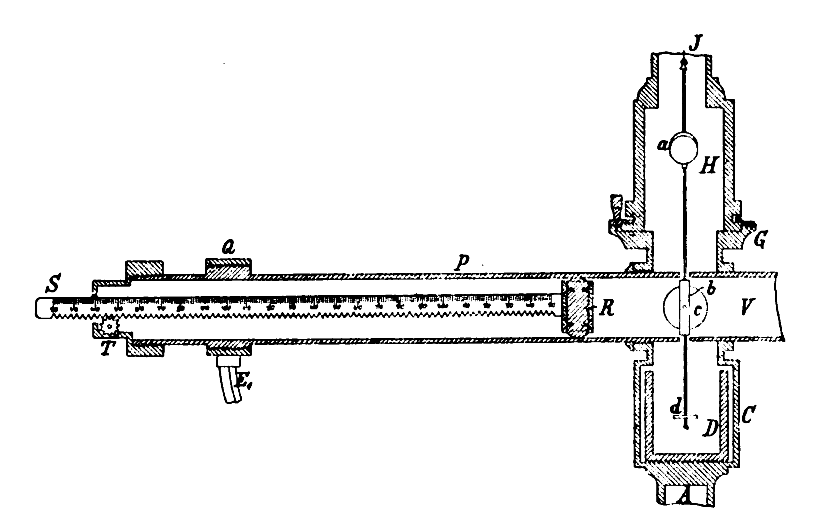
$$(2)\quad R_t = R_0 + 0{,}04379\,t - 0{,}0000109\,t_2$$
$$(3)\quad E_t = 0{,}51048\,t + 0{,}001624\,t_2$$
$$(4)\quad E_t = 0{,}7935\,t - 0{,}001335\,t_2$$

Die Prüfung der 5 Apparate bei der Verflüssigung des Stickstoffoxyduls und des Aethylens ergab noch eine befriedigende Übereinstimmung; im ersten Fall die Zahlen — 88,8; — 88,7; — 88,9; — 88,9; — 88,9; im zweiten Fall — 102,4; — 102,6; — 102,0; — 102,1; — 102,9. Die Verfasser schliessen daraus, dass bis — 100° der Wasserstoff den Zustand eines vollkommenen Gases behält. Es ist interessant, dass ein Alkoholthermometer, dessen Calibrierung auf die beiden Punkte 0 und 30° gestützt war, im siedenden Aethylen nur — 89,5° angab, also etwa 13° Abweichung von der absoluten Skala zeigte.



Tonstärke-Messung. Die Methoden, welche sich dazu eignen, die Messung von Schall- und Tonstärken auszuführen sind von dreierlei Art. Erstens kann die direkte Vergleichung zweier Töne oder Schalle durch das Gehör einen Unterschied in der Stärke derselben ergeben, welcher Unterschied auch innerhalb gewisser Grenzen zahlenmässig festgestellt werden kann. Versuche dieser Art sind besonders von K. v. Vierordt mit Benutzung einer Phonometertafel oder eines Schallpendels ausgeführt. Zweitens kann das Mikrophon benutzt werden, da ein solches ausser periodischer Veränderung des Uebergangswiderstandes auch eine Vergrösserung des mittleren Widerstandes erfährt; aus der Veränderung des Widerstandes kann man auf die Stärke des erregenden Tones schliessen. A. Oberbeck hat Versuche hierüber angestellt. Endlich kann ein Ton auf resonierende Körper so einwirken, dass eine mechanische Veränderung derselben oder in denselben stattfindet. Mehrere Apparate, welche diese Veränderungen zeigen, hat Dvoràk konstruiert und beschrieben.

E. Grimsehl (*Progr. des Realgymn. des Johanneums, Hamburg 1888*) benutzt zur Construktion eines Phonometers eine Erscheinung, welche zuerst von Lord Rayleigh beobachtet ist, dass nämlich ein im Innern einer schwingenden Luftsäule drehbar aufgehängtes Blättchen das Bestreben zeigt, sich senkrecht zur Axe der Luftsäule zu stellen. Die Figur stellt den mittleren Teil des Phonometers im Durchschnitt (in $^1/_4$ natürlicher Grösse) dar. Eine auf einem Stativ drehbare Säule A trägt ein Gehäuse C, in welchem ein Gefäss D mit Glycerin steht. Oberhalb des Gehäuses ist eine cylindrische Hülse befestigt, welche zwei cylindrische Röhren P und V aufnimmt. Diese Röhren treten dicht aneinander und sind an der Stelle, an welcher sie zusammenstossen, mit zwei kleinen Durchbohrungen



versehen, durch welche die Axe einer Fahne hindurchgeht. In dem einen Rohre P, welches durch einen Arm E_1 gehalten wird, ist ein Stempel R, durch Zahnstange S und Trieb T beweglich, luftdicht eingeschoben. Oberhalb der cylindrischen Hülse befindet sich ein Teller G, auf welchem drehbar das Spiegelgehäuse H und die Suspensionsröhre J eingesetzt sind. An dem oberen Ende der Suspensionsröhre befindet sich ein Torsionskopf, welcher mittels eines bifilaren Coconfadens die Fahne trägt. Diese ist an einem dünnen Stahldraht befestigt, der überdies einen Ablesungsspiegel a trägt; dort, wo der Draht durch das Rohr P geht, nimmt eine an dem Stahldraht befestigte Messinghülse b ein dünnes Glimmerblättchen c auf. Das untere Ende des Stahldrahtes ist mit zwei kleinen Querbalken d versehen, welche in das Glycerin des Gefässes D tauchen und als Dämpfer wirken.

Wenn nun die Rohre P und Q mit ihren Längen so gewählt sind, dass sie einen Ton resonieren, so dreht sich das Blättchen c in die Senkrechtstellung zur Axe und zwar um so mehr, je stärker der resonierte Ton ist. Man kann daher aus der Grösse der Drehung einen Schluss auf die Tonintensität machen.

E. Grimsehl hat mehrere Beobachtungen mit diesem Phonometer gemacht und ist zu Resultaten gekommen, welche besonders durch ihre Übereinstimmung sich auszeichnen. Ausserdem gestattet der Apparat die Anwendung auch bei bewegter Luft, wenn die vordere Öffnung des Phonometerrohres durch eine dünne elastische Membran geschlossen ist, da durch diese zwar die Luftbewegung abgeschlossen, aber die Wirkung des Tones nicht aufgehoben wird. Der Apparat eignet sich besonders zur Bestimmung der Intensitätsverteilung eines Tones innerhalb eines Raumes. Bezüglich der hierüber angestellten Versuche muss auf die Schrift selbst verwiesen werden.

Endlich beschreibt der Verfasser noch einen Apparat, welcher eine eigentümliche Interferenzerscheinung zeigt. Derselbe besteht aus zwei offenen Orgelpfeifen, deren Entfernung von einander dadurch leichter variiert werden kann, dass sie sich an den Enden zweier drehbarer Rohre befinden. Diese beiden Pfeifen schwächen einander in ihrer Intensität, wenn ihre gegenseitige Entfernung gleich einem geraden Vielfachen, sie verstärken einander, wenn die Entfernung gleich einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge ist. Die Tonintensität dieser „Doppelpfeife" ist auch mit dem Phonometer untersucht worden.

Die Brechungsexponenten der Metalle. Es ist A. Kundt gelungen, sehr dünne und noch hinreichend durchsichtige prismatische Metallschichten herzustellen, an welchen die Bestimmung des Brechungsexponenten nach der Methode der prismatischen Ablenkung ausgeführt werden konnte. Der grösste Teil der Prismen wurde elektrolytisch auf Platten aus platiniertem Glase niedergeschlagen, indem eine solche Platte horizontal gelegt, eine Elektrode aus dem niederzuschlagenden Metall senkrecht dazu gestellt und in die Winkel zwischen beiden eine capillare Schicht der Zersetzungsflüssigkeit gebracht wurde. Die erhaltenen Prismen, von denen immer nur sehr wenige brauchbar waren, hatten Flächen von 2—3 mm Breite und etwa 10 mm Höhe. Beim Silber wurden auch Prismen auf chemischem Wege durch Reduktion (nach Quincke) gewonnen, beim Platin musste das Mittel des Niederschlagens durch Zerstäubung (wie sie bei galvanischem Glühen des Platins eintritt) angewendet werden. Der brechende Winkel δ der benutzten Prismen lag zwischen 11″ und 50″. Da auch der Einfallswinkel möglichst klein gewählt wurde, so konnte, die Ablenkung $= \alpha$ gesetzt, der Brechungsexponent einfach berechnet werden aus $n = (\alpha + \delta)/\delta$. Die Beobachtungen wurden sowohl für weisses Licht (den mittleren Strahlen des Spectrums entsprechend), als auch für rotes und blaues Licht ausgeführt, wobei zugleich ein verschiedener Grad der Dispersion hervortrat. Dass die beobachteten Ablenkungen in der That von einer Brechung herrührten, wurde dadurch bestätigt, dass die Ablenkungen, wenn die Metallprismen in verschieden brechende Flüssigkeiten gebracht wurden, sich entsprechend den Brechungsgesetzen änderten. Die gefundenen Werte von n sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, in der sich die erste Reihe auf rotes, die zweite auf weisses, die dritte auf blaues Licht bezieht.

Silber	Gold	Kupfer	Platin	Eisen	Nickel	Wismuth
—	0,38	0,45	1,76	1,81	2,17	2,61
0,27	0,58	0,65	1,64	1,73	2,01	2,26
—	1,00	0,95	1,44	1,52	1,85	2,13

Die Geschwindigkeit des (weissen) Lichtes im Silber ist demzufolge nahe viermal so gross als im Vakuum; auch im Gold und Kupfer ist sie grösser als im leeren Raum, in den übrigen Metallen dagegen kleiner. Die Dispersion ist bei Silber nicht sehr beträchtlich, bei Gold und Kupfer normal, bei den andern anomal. Die angegebenen Werte stimmen in überraschender Weise mit denjenigen überein, welche Beer nach der Cauchyschen Theorie aus Beobachtungen Jamin's berechnet hat. Nur bei Wismuth ist eine grössere Differenz vorhanden, die in Verschiedenheit des Materials ihren Grund haben dürfte. Auch die Brechungsexponenten der Oxyde des Eisens, Nickels, Wismuths, Kupfers,

ferner des Jodsilbers, des mit Platin gemischten Platinoxyds und des mit Gold gemischten Goldoxyds hat Kundt auf dieselbe Weise bestimmt.

Von grossem Interesse ist es, dass die gefundenen Brechungsexponenten annähernd dasselbe Verhältnis zu einander zeigen, wie die Zahlen für das galvanische Leitungsvermögen und die Wärmeleitungscoefficienten. Diejenigen Metalle, denen der kleinste Brechungscoefficient, also die grösste Lichtgeschwindigkeit zukommt, sind die besten Leiter für Elektricität und Wärme. Dies springt namentlich in die Augen, wenn man die Werte für rotes Licht, die der Grenze der Dispersion nach der minder brechbaren Seite zunächst liegen, auf den Wert für Silber = 100 bezieht:

Silber	Gold	Kupfer	Platin	Eisen	Nickel	Wismuth
100	71	60	15,3	14,9	12,4	10,3

Der ein wenig geringere Wert für Kupfer ist möglicherweise dadurch verursacht, dass das elektrolytische Kupfer etwas Oxydul enthielt. Der beträchtlicher abweichende Wert für Wismuth kann daher rühren, dass das elektrolytische Wismuth dem Anschein nach, auch unter dem Mikroskop, sich als unkrystallinisch erwies. Abgesehen hiervon ist die Proportionalität so deutlich erkennbar, dass darin ein weiterer wichtiger Hinweis auf die immer mehr sich aufdrängende Verwandtschaft der Lichtbewegung mit der Bewegung der Elektricität und der Wärme erblickt werden muss. (*Berl. Sitz.-Ber. 16. Febr. 1888; Wied. Ann.* **34**, *469; 1388.)*

3. Geschichte.

Leonardo da Vinci und das Beharrungsgesetz. Die älteren Mitteilungen Venturi's aus dem handschriftlichen Nachlass von Leonardo da Vinci hatten es wahrscheinlich gemacht, dass diesem das Grundgesetz der Dynamik vor Galilei bekannt gewesen sei. Die neueste Veröffentlichung des Manuskriptes A der Pariser Handschriften durch Ravaisson-Mollien werfen auch auf diese Frage neues Licht, wie Emil Wohlwill in der *Biblioth. Math. N. F. 2, S. 19—26 (1888)* auseinandersetzt. Leonardo hat, „vielleicht als Einziger vor Descartes", das Beharren des Zustandes als ein allgemeines Naturprinzip bezeichnet: „Naturgemäss verlangt ein jedes Ding sich in seinem Zustande zu erhalten". Er führte auch bereits den Versuch mit den Damenbrettsteinen als ein Beispiel für die Trägheit des ruhenden Körpers an. In Bezug auf das Beharren im Zustande der Bewegung dagegen gehört Leonardo's Anschauung noch ganz jenem älteren Gedankenkreise an, über den E. Wohlwill in einer anderen Abhandlung (‚Über die Entdeckung des Beharrungsgesetzes' *Ztschr. f. Völkerpsych. u. Sprachw. 1883, 1884*) genauere Untersuchungen angestellt hat. Wie Nicolaus von Cusa hat auch Leonardo die Ansicht, dass die Körper in Bewegung geraten vermöge einer ihnen eingeprägten Kraft (vis impressa, bei Leonardo vis infusa), welche im Laufe der Bewegung allmählich aufgebraucht wird. Wie der Schlag in der Glocke etwas ihm Ähnliches eingeprägt zurücklässt, so begleitet die eingeprägte Kraft, als ein unsichtbares Vermögen, den bewegten Körper und bewegt ihn so lange, als sie sich selbst verzehrt. Eben diese bewegende Kraft „eilt mit Ungestüm zu ihrem ersehnten Tode", sie „stirbt durch Freiheit", sie „entsteht zu kurzem Leben". Deshalb ist „keine Bewegung, die sie hervorruft, von Dauer". Auch der geworfene Körper verfolgt den begonnenen Lauf, anfangs sogar mit Beschleunigung, bis er, „von der ersten Kraft etwas verlassen", schwach zu werden und sich zu neigen beginnt. Der scheinbare Widerspruch, in welchem diese Äusserungen mit der oben erwähnten Formulierung des Beharrungsprinzipes stehen, löst sich nach der scharfsinnigen Unterscheidung Wohlwill's durch den Hinweis auf jene ältere Auffassung von der bewegenden Kraft, die erst durch Galilei, und auch bei diesem erst in allmählicher Entwicklung, überwunden worden ist.

4. Unterricht und Methode.

Zur Lehre von der Centralbewegung und den dabei auftretenden Kräften. Über diesen Gegenstand, dessen Behandlung zu den reformbedürftigsten Teilen des Physik-Unterrichtes gehört, hat E. Maiss in der österr. *Ztschr. für Realschulw. XIII, 201—217*

(1888) einen Aufsatz veröffentlicht, der zur Klärung der Sache beizutragen wohl geeignet ist. Aus den ‚leitenden didaktischen Gesichtspunkten' sei folgendes hervorgehoben: 1. Die eingehende Behandlung der gleichförmigen Kreisbewegung darf im Unterricht nicht übergangen werden. 2. Bei den fundamentalen Bewegungen sollen die geometrischen und die dynamischen Verhältnisse so streng als möglich gesondert erscheinen; nur dann wird auch der Anfänger überblicken können, was beobachtete oder doch der Beobachtung zugängliche Thatsache ist, und was bloss behufs Erklärung beigegebene Begriffe sind. 3. Der dynamische Teil der Betrachtung soll nicht gleich die Begriffe der Centripetal- und der Centrifugalkraft in ihrem weitesten Sinne vorführen, sondern zunächst die besonderen Vorstellungen, die jenen Begriffen zu Grunde liegen, entwickeln.

Im einzelnen basiert die Darstellung, welche der Verfasser giebt, „auf einem durchweg consequenten Festhalten des Trägheitsbegriffes". Den Anfang bildet die Fundamentalaufgabe: Es soll die Bewegung einer Masse von m Gramm beschrieben werden, welche sich so bewegt, dass die Richtung der Bewegung nach je τ Sek. um $\tau\omega^\circ$ (oder in je 1 Sek. um ω°) sich ändert, die Geschwindigkeit aber unverändert bleibt. Durch Übergang zu unendlich kleinem τ wird hieraus die gleichförmige Kreisbewegung hergeleitet. Von den dynamischen Begriffen schliesst sich an diese Betrachtung zunächst die Centripetalkraft an, deren Wert aus der vorangegangenen geometrischen Behandlung unmittelbar folgt. Der Verwirrung, welche bezüglich der Begriffe Centrifugalkraft und Fliehkraft fast allgemein herrscht, sucht der Verfasser dadurch ein Ende zu machen, dass er die Centrifugalkraft als die Reaktion definiert, welche der Centripetalkraft gleich und entgegengerichtet ist, und deren Angriffspunkt im Centrum, bezw. in der festen Achse der Kreisbewegung liegt. Dagegen liegt der Angriffspunkt der sogenannten Fliehkraft in dem bewegten Körper selbst; was man Fliehkraft nennt, ist „gar keine besondere wirklich auftretende Kraft", sondern nur eine Hilfsvorstellung zur leichteren mathematischen Beschreibung der Thatsache, dass in gewissen Fällen von kreisförmiger Bewegung eine nachweisbare Verminderung der für die Centripetalwirkung disponiblen Kräfte des Systems eintritt. Von Tangentialkraft endlich kann in diesem Zusammenhange nur dann gesprochen werden, wenn eine Componente der Centripetalkraft in Richtung der Tangente einer krummlinigen Bahn (wie bei der elliptischen Centralbewegung) zur Wirkung kommt.

Zu dieser wohl durchdachten, in sich logischen Darstellung des Gegenstandes sei die Bemerkung gestattet, dass die bisherige Unklarheit der elementaren Behandlung in der Unsicherheit über Geltung und Tragweite des sogenannten Galilei'schen Bewegungsbegriffs ihren letzten Grund hat. Die Forderung, diesen Begriff consequent durchzuführen, ist in dem Aufsatze nachdrücklich ausgesprochen. Die Nötigung indess zu dieser Forderung ist nicht so unbedingt und selbstverständlich; hier liegt noch eine Schwierigkeit für den elementaren Unterricht, die sich verstehen lässt, wenn man bedenkt, dass die ewige Fortdauer der Rotation an sich ein ebenso einfaches Naturgesetz ist, wie die Erhaltung der geradlinigen Bewegung, so dass jene sogar sich bei Galilei — früher und in voller Allgemeinheit — ausgesprochen findet, während die zweite überhaupt erst in der nachgalileischen Zeit zur deutlichen Ausprägung gekommen ist; und wenn man ferner bedenkt, dass die Geltung des Beharrungsgesetzes für die geradlinige Bewegung sich seiner Herleitung zufolge zunächst nur auf frei bewegliche Körper, nicht aber auf solche, die sich in vorgeschriebener Bahn bewegen, erstreckt. Die Ausdehnung des Gesetzes auch auf diese Fälle war vielmehr eine Forderung der einheitlichen systematischen Darstellung und wurde durch die Beobachtung der Erscheinungen der Fliehkraft gerechtfertigt. Von diesem Gesichtspunkte erscheint eine Darstellung möglich, welche, eben im Sinne der zweiten didaktischen Forderung des Verfassers, das Beharrungsgesetz nicht in voller Allgemeinheit voraussetzt, sondern die Verallgemeinerung selbst erst mit sich führt. — Eine durch den Aufsatz von E. Maiss hervorgerufene andersartige Darstellung des Gegenstandes wird demnächst von einem Mitarbeiter dieser Zeitschrift gegeben werden. *P.*



Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physikalische Aufgaben für die oberen Klassen höherer Lehranstalten. Aus den bei Entlassungsprüfungen gestellten Aufgaben ausgewählt und mit Hinzufügung der Lösungen zu einem Übungsbuch vereinigt von Dr. Wilhelm Budde, Oberlehrer am Realgymnasium zu Duisburg. — Braunschweig. Vieweg & Sohn. 1888. —

Eine Sammlung der bisher in den Abiturienten-Prüfungen gestellten physikalischen Aufgaben, soweit sie wesentlich von einander verschieden sind, würde von grossem Interesse sein, da sie ein deutliches Bild von dem bisherigen Stande des Unterrichts geben könnte. Der Verfasser hat eine solche zu liefern nicht beabsichtigt, er hat seine Auswahl auf die Jahrgänge 1881—85 beschränkt und Aufgaben über das Trägheitsmoment, die Beugung des Lichtes, die doppelte Brechung als für die Schule zu schwierig ausgeschlossen. Wenn man auch der Ansicht sein sollte, dass es nicht möglich oder nötig ist, diese Gebiete sämtlich erschöpfend zu behandeln, so wird man doch nicht selten ein oder das andere Kapitel in den Unterricht hineinziehen; es erscheint daher als ein Mangel, dass dieser Sammlung Aufgaben der erwähnten Art ferngehalten sind.

Der schon mehrfach unternommene Versuch, durch einfache Aufgaben und Experimente über drehende und rollende Bewegung dem Schüler einen Einblick in den Begriff des Trägheitsmoments zu verschaffen, erscheint trotz der entgegenstehenden Ansicht des Verfassers berechtigt, da dieser Begriff das Verständnis einer grossen Menge alltäglicher Bewegungserscheinungen vermittelt. Bei der üblichen Beschränkung der Mechanik auf die fortschreitende Bewegung eines Massenpunktes hat der Schüler schliesslich wohl einige Einsicht in den Verlauf der himmlischen Bewegungen, für triviale Vorgänge an einem Uhrwerk oder einer Maschine fehlen ihm die Anknüpfungspunkte. Sollen die Aufgaben über das Trägheitsmoment etwa deshalb wegfallen, weil viele von ihnen, die einen mehr mathematischen als physikalischen Charakter tragen, Summationen erfordern, welche sich durch ein Integralzeichen allgemein zwar nicht ausführen, aber doch andeuten lassen? Solche Summationen können teils durch passende Einrichtung der Aufgaben vermieden, teils eben so leicht wie in vielen anderen Gebieten mit elementaren Mitteln bewältigt werden. Die Ansicht, dass eine sachgemässe Behandlung der betreffenden Aufgaben erst durch die analytische Mechanik ermöglicht werde, scheint eine Verkennung des Wesens dieser Wissenschaft in sich zu schliessen. Wendet man eine der Formeln, durch die sie die Bewegung eines allgemeinen Systems ausdrückt, auf die Rotation oder das Rollen eines Körpers an, so erhält man gewiss ein richtiges Resultat, aber der weite Umweg gestattet keine Einsicht in den innern Grund, die gerade den bildenden Wert dieser Aufgaben ausmacht. Das Trägheitsmoment ist dort nur eine häufig anzuwendende mathematische Constante und es erscheint überflüssig, seinen Namen als sachgemäss zu rechtfertigen. Für die Behandlung in der Schule und für die Erlangung des grundlegenden Verständnisses ist der umgekehrte Weg weit fruchtbringender, von den Elementen aufzusteigen und aus vielen verschiedenartigen Bewegungsbeispielen die Geltung der allgemeinen Prinzipien der Mechanik erkennen zu lassen. So gewinnt man eine sichere Vorstellung von ihrer alles umfassenden Bedeutung und kann sie dann auch auf solche complicierte Erscheinungen anwenden, bei denen eine die einzelnen Teilchen individuell verfolgende Betrachtung nicht mehr möglich ist.

In dem durch die Programme gelieferten Material waren einige Gebiete z. B. die Reibungs-Elektricität nur sehr spärlich mit Aufgaben bedacht. Der Verfasser hat jedoch „der Versuchung widerstanden, aus eignem oder fremdem Material die Lücken auszufüllen“. Seine Arbeit hat, abgesehen von der Auswahl der geeigneten Aufgaben, in der Herstellung einer einheitlichen Fassung und der Berechnung der allgemeinen und numerischen Lösungen bestanden. Was die erstere betrifft, so ist besonderes Gewicht auf den Ausschluss entbehrlicher Fremdwörter gelegt worden, denen wohl auch die „harmonischen“ Schwingungen zuzurechnen gewesen wären. Bei Aufgaben, die in bestimmten Beobachtungen einen thatsächlichen Hintergrund besassen, ist dieser leider beseitigt worden.

Es erregt viel grösseres Interesse, die Declination und Inclination für einen bestimmten Ort und bestimmte Zeit zu berechnen, als Rechnungsoperationen an fingierten Daten zu vollziehen. Dahin gehört ferner, dass Angaben über den Wert elektromotorischer Kräfte hier in Zahlen erfolgen, denen die Benennungen fehlen, während für den Widerstand die gänzlich veraltete und unsichere Jacobi'sche Einheit benutzt wird. Die neuere so ausserordentlich wichtige Entwicklung des Maasswesens in der Elektricität, die auch in andern Gebieten der Physik klare Vorstellungen gefördert hat, ist hier ganz unberücksichtigt geblieben. So erscheint denn das Gramm im Anschluss an die älteren französischen Lehrbücher der Mechanik noch immer als Gewicht, während schon Gauss diese Auffassung mit derjenigen vertauschte, nach welcher es eine unveränderliche Masse ist, die unter dem Einfluss verschiedener Weltkörper ein verschiedenes, selbst auf der Erdoberfläche schwankendes Gewicht besitzt. Ein sachlicher Irrthum findet sich in der Fassung mehrerer Aufgaben über die schiefe Ebene, die von rollenden Körpern handeln, während gleitende gemeint sind. Dieser sehr häufige Fehler zeigt, wie notwendig die Bekanntschaft mit dem Begriffe des Trägheitsmoments ist, wenn man auch nur die Galilei'schen Gesetze der schiefen Ebene nicht missverstehen will. Der Ausdruck wäre nur dadurch zu rechtfertigen, dass man sich die rollenden Körper als fast massenlose Schalen dächte, die in ihrer Axe mit einem beträchtlichen Massenkern behaftet wären.

Für die Brauchbarkeit der Sammlung im Unterricht ist die Hinzufügung der Auflösungen von erheblichem Werte. Dieselben sind immer zuerst in allgemeinen Zeichen gegeben und gestatten dadurch eine leichte Schätzung der Schwierigkeit der einzelnen Aufgaben, können auch häufig eine Anleitung für den Gang der Lösung bieten. Über einzelne Aufgaben sind folgende Bemerkungen zu machen.

Bei der Bestimmung der horizontalen Kraft, die unter Berücksichtigung der Reibung einen Schlitten auf einer schiefen Ebene im Gleichgewicht hält (Aufg. 66), ist nicht beachtet, dass die gesuchte Kraft eine Componente hat, welche als Druck gegen die schiefe Ebene wirkt und daher die Reibung beeinflusst.

Für die Geschwindigkeit einer die Erde umkreisenden Kanonenkugel (Aufg. 92) wird als genauer Wert $\sqrt{g/2 \cdot (2r - g/2)}$ angegeben, der nur angenähert durch $\sqrt{gr}$ zu ersetzen sei. Der letztere ist allein richtig, der erste nicht einmal homogen, da r und g resp. von den Dimensionen L und LT^{-2} sind. Die Aufgabe ist in Schellbach's neuen Elementen der Mechanik (bearbeitet von Arendt) enthalten, deren Studium für eine klare Auffassung der Schwung- oder Central-Kraft überhaupt zu empfehlen ist. Der obige Wert bedarf noch einer Correktur infolge der aus der Erdrotation folgenden Geschwindigkeit des Geschützes, wenn dieses nicht etwa am Pol aufgestellt ist.

Für die Wirkungsweise eines Spiegels, auf den die Strahlen durch eine in bestimmter Entfernung aufgestellte Linse fallen (Aufg. 422), ist der Einfluss unberücksichtigt geblieben, welchen die Linse auf die reflektierten Strahlen ausübt. Sie ist für diese als blosses Diaphragma aufgefasst worden.

Endlich sind zwei Aufgaben zu erwähnen, die wohl entsprechend dem sonst inne gehaltenen Standpunkt wegen zu grosser Schwierigkeit hätten ausgeschlossen werden dürfen. Die erste (Aufg. 72 und 195) behandelt die Abweichung frei fallender Körper von der Vertikalen. Diese ist bekanntlich in erster Linie dem Cosinus der geographischen Breite proportional, was sich durch eine Zerlegung der Erdrotation in eine vertikale und eine horizontale Componente ähnlich wie das Gesetz des Foucault'schen Pendelversuchs begründen lässt, andere Grössen, z. B. der veränderliche Wert der Schwerkraft haben nur einen unmerklichen secundären Einfluss. Hier ist dagegen der letztere allein berücksichtigt, so dass die Abweichungen am Äquator und in einer Breite von 30° fast identisch sind und sich auch für den Pol noch derselbe Wert ergeben würde. Aber auch die auf den Äquator bezügliche Berechnung, die sich offenbar an die populäre, in Geographie-Büchern zu findende und nur qualitativ richtige Betrachtung des Vorgangs anschliesst, liefert ein unrichtiges Resultat, was wir an einer geeigneteren Stelle nach-



weisen wollen (vgl. d. Heft, S. 259). Auch die zweite Aufgabe (459), auf die Gestaltsänderung eines aus Kupfer und Zink zusammengesetzten Doppelstreifens bezüglich, bedarf einer ausführlicheren Erörterung (vgl. S. 261).

Auf die Herstellung der numerischen Resultate ist viel zu grosse Mühe und Sorgfalt verwandt worden. Der Verfasser hat überall 5 Stellen berechnet, auch wo die Natur der Aufgabe einer solchen Genauigkeit durchaus widerstreitet. Bei solchem Verfahren lernt der Schüler nicht, dass die Brauchbarkeit eines physikalischen Resultats allein in seiner Übereinstimmung mit der Wirklichkeit besteht. Eine vielziffrige Zahl, die bei der Erprobung durch den Versuch nur auf eine unbestimmte Anzahl von Stellen, vielleicht weniger als die Hälfte, bestätigt zu werden braucht, ist von sehr geringem Wert. Es ist daher sehr wesentlich, den Unterschied zwischen rein mathematischen Zahlen, wie $\sqrt{2}, \pi$, die mit unbeschränkter Genauigkeit definiert sind, und zwischen physikalischen Daten und Constanten zum Verständnis zu bringen. Angaben wie die folgenden (Aufg. 310), der höchste musikalische Ton habe 32768, der höchste wahrnehmbare 36864 Schwingungen, sind der Erreichung dieses Zieles nicht förderlich.

Unter Beschränkung auf die erreichbare Genauigkeit lassen sich viele physikalische Berechnungen vereinfachen, wenn man einige algebraische Formeln benutzt, deren wesentlicher Nutzen gerade aus solchen Anwendungen erkannt wird, z. B. die angenäherten Werte oder Reihenentwickelungen von $1/(1+\alpha)$, $(1+\alpha)^n$, $\sqrt[n]{1+\alpha}$, $\sin\alpha$, $\log(1+\alpha)$ für kleine Werte von α. Diese wären z. B. bei folgender Gleichung anzuwenden gewesen (Aufg. 459)

$$\frac{r-1}{r}=\frac{999}{1000}\,\frac{1+\alpha' t}{1+\alpha t}, \quad (\alpha'=17\,.\,10^{-6},\ \alpha=29\,.\,10^{-6},\ t=30),$$

wo der Verfasser die fünfstelligen Tafeln zur Erreichung erträglicher Genauigkeit nicht einmal ausreichend fand. In der That zeigt die rechte Seite erst in der dritten Decimalstelle einen Unterschied gegen die Einheit, sodass ihr auf 5 Ziffern berechneter Wert beim Weiterrechnen für $1/r$ eine Zahl mit 2 geltenden Ziffern ergiebt. Die geeignete Umformung ist

$$1-\frac{1}{r}=\left(1-\frac{1}{1000}\right)(1-\alpha t)(1+\alpha' t)$$

$$\frac{1}{r}=\frac{1}{1000}+(\alpha-\alpha')\,t=\frac{1{,}36}{1000},$$

woraus $r = 735$ mm folgt. Hier bedeutet r den Radius des Kreisbogens, nach welchem sich der oben erwähnte Kupfer-Zink-Streifen krümmt. Eine grössere Genauigkeit lassen die Daten nicht zu. Der Verfasser findet mit 7stelligen Tafeln $r = 735{,}5646$ mm, was bis auf Wellenlängen des Lichtes genau zu sein scheint.

Wenngleich das Buch hiernach nicht allen Anforderungen genügt, so enthält es doch so viel brauchbares, dass der physikalische Unterricht nach manchen Seiten hin davon Nutzen ziehen kann. Die hervorgehobenen Mängel schreiben sich grossenteils von der Art der Entwicklung des physikalischen Unterrichts her, die lange Zeit in zu engem Anschluss an die reine Mathematik erfolgt ist. *M. Koppe.*

Handbuch der statischen Elektricität von E. Mascart. Deutsche Bearbeitung von Dr. Ignaz G. Wallentin. Zweiter Band. Mit 139 Holzschnitten. Wien, A. Pichler's Witwe und Sohn, 1887. 690 S. M. 16.—

Der erste Band des vorliegenden Werkes hatte die Grunderscheinungen der Elektricität eingehend und im Anschlusse an die historische Entwicklung auseinander gesetzt und dazu eine ausführliche, vom Übersetzer mit zahlreichen Erweiterungen versehene Darstellung der mathematischen Theorie gefügt. Der zweite Band enthält fast ausschliesslich experimentelles Material, ebenfalls unter Berücksichtigung des historischen Gesichtspunktes. In sieben Kapiteln werden die conduktiven Entladungen, die disruptiven Entladungen,

die Eigenschaften des Funkens und andere Wirkungen der Entladung, die elektrischen Maschinen, endlich die Elektricitätsquellen behandelt. Das Kapitel über die Maschinen ist wegen seiner klaren und übersichtlichen Darstellung auch der theoretischen Fragen, welche sich an die Reibungs- wie an die Influenzmaschinen knüpfen, besonders bemerkenswert. In dem Abschnitt über Contaktelektricität sind die Originalarbeiten Ohm's nicht so berücksichtigt, wie sie es verdienen; es wäre dankenswert gewesen, wenn der deutsche Bearbeiter auch diesen Mangel des Originals abgestellt hätte. Auch in diesem Teil des Buches ist im übrigen der historische Charakter der Darstellung mit Recht beibehalten. Wenn es unleugbar ist, dass aus der genauesten und möglichst umfassenden Kenntnis des Entwicklungsganges einer Wissenschaft der Unterricht in dieser seine Kraft und Fülle zu schöpfen hat, so ist das Werk als ein wichtiges Förderungsmittel auch der Zwecke des Unterrichts zu bezeichnen. *P.*

Practical Physics for schools and the junior students of colleges by Balfour Stewart and W. W. Haldane Gee. Vol. I. Electricity and Magnetism. London, Macmillan and Co. 1888. VIII and 221 p. 2 sh 6 d.

Das Werkchen ist in erster Reihe eine Anleitung für Schüler und Studenten zur praktischen Ausführung der grundlegenden Versuche. Es enthält 34 Lektionen, in deren jeder erst eine Zusammenstellung der experimentellen Hilfsmittel nebst Angaben über deren Selbstverfertigung, dann die Experimente, dann deren Erklärung und Folgerungen daraus gegeben werden. Im Gegensatz zu der in England üblichen (schon durch Baco von Verulam inaugurierten) Art der Stoffanhäufung ist das Buch durch eine überlegte Auswahl der Versuche und durch planmässige Anordnung derselben ausgezeichnet. Besondere Beachtung verdienen die Versuche mit dem Goldblatt-Elektroskop, durch welche die Lehre vom Potential in einfacher Weise anschaulich gemacht wird. Ein offener Zinncylinder auf isolierender Unterlage dient zur Wiederholung von Faraday's „Eiseimerversuchen". Auch Cavendish's Condensatorversuche werden für den elementaren Zweck des Buches nutzbar gemacht. Die Einführung in den Galvanismus ist weniger befriedigend; doch zeichnet sich dieser Teil im übrigen durch ein sehr exaktes Eingehen auf die Messung der Fundamentalgrössen aus. Die Fülle praktischer Winke und die Übersichtlichkeit, in welcher die Grundversuche vorgeführt werden, lassen das Buch nicht nur als brauchbar für den vorher bezeichneten Zweck, sondern auch als höchst wertvoll für den Lehrer der Physik erscheinen, der ihm überdies manche Anregung in methodischer Hinsicht entnehmen wird. *P.*

Kurzer Abriss der Geschichte der Chemie von G. Siebert, Realschul-Oberlehrer in Wiesbaden. Wien und Leipzig. A. Pichler's W. u. S. 1886. 124 S. M. 1,50.

Illustrierte Geschichte der Elektricität von den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage. Von Dr. Eugen Netoliczka. Wien, A. Pichler's W. u. S. 1886. 288 S. M. 3.—.

Handbuch der physikalischen Maassbestimmungen von Dr. B. Weinstein. II. Band. Einheiten und Dimensionen, Messungen für Längen, Massen, Volumina und Dichtigkeiten. Berlin, Julius Springer. 1888. XII und 552 S. M. 14.—

Die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche. Nach seiner von der Académie des Sciences zu Paris gekrönten Preisschrift neu bearbeitet von Dr. Wilhelm Zenker. Mit einer lithographirten Tafel. Berlin, Julius Springer. 1888. VI und 98 S. M. 3.—.

Programme. Ostern 1888.

Methodischer Leitfaden der unorganischen Chemie. Induktive Einführung in das Verständnis chemischer Vorgänge unter Berücksichtigung der Thermochemie. Von L. Knöpfel. Pr. der Realschule zu Oppenheim (vgl. auch diese Ztschr. S. 226).



Versammlungen und Vereine.

Vorlesungs-Versuche mit Seifenblasen. Vorgeführt von C. V. Boys in der Physical Society in London am 14. April 1888 *(Phil. Mag. (5), 25 No. 156; May 1888).*

Es ist bekannt, dass Seifenblasen nicht in wirklichen Contakt mit den Gegenständen kommen, auf denen sie ruhen oder die man selbst mit Gewalt gegen sie presst; auch wenn zwei Seifenblasen gegen einander gedrückt werden, ändern sie ihre Gestalt, ohne sich zu berühren; dabei ist die Luftschicht zwischen ihnen noch so dick, dass die Newton'schen Ringe nur sichtbar werden, wenn die eine Blase ziemlich klein ist. Bei Eintritt wirklichen Contakts zerspringen beide Blasen auf ein Mal. Auf dieses Verhalten beziehen sich mehrere der folgenden Versuche.

(1.) Eine Blase von 9 cm Durchmesser, auf einen Ring von 7 cm Durchmesser gesetzt, kann mit Hülfe eines oben aufgelegten, kleineren Ringes durch den grösseren hindurch gedrückt werden. Auch lässt sich ein weiter, mit einer ebenen Seifenhaut bezogener Ring benutzen, um die Blase hindurch zu drücken, wobei kein Contakt zwischen beiden Häuten stattfindet. — **(2.)** An denselben Ring hänge man von unten eine grosse Blase und sorge dafür, dass ein möglichst grosser Tropfen daran hängen bleibt; dann führe man die Thonpfeife von oben in die Blase hinein und erzeuge im Innern eine zweite Blase, indem man einen Überschuss anhängender Flüssigkeit vermeidet. Zieht man nun die Röhre schnell heraus, so schwebt die zweite Blase frei in der ersten, indem der durch den Tropfen beschwerte dickere Teil der äusseren von der inneren völlig entfernt bleibt; durch Entziehung von Luft kann man den Zwischenraum zwischen beiden bis auf 2 oder 3 Millimeter vermindern. — **(3.)** Statt durch einen Tropfen, wie in Versuch 2, beschwere man die grosse Blase durch einen etwas kleineren befeuchteten Ring (Fig. 1a), dessen Gewicht so abgemessen ist, dass die Blase an der Berührungsstelle einen Winkel von 20—30° mit der Ebene des Ringes bildet. Stellt man nun wie vorher eine zweite Blase im Innern her, so ruht diese auf der nach unten verengten Wand des ersten; anhängende Tropfen können mit Hülfe des Pfeifenstiels entfernt werden. Zieht man den unteren Ring dann langsam nach unten (Fig. 1b), so wird die innere Blase zu einem schönen Oval umgestaltet, während die äussere eine entsprechende Erweiterung erfährt; bei weiterem Ziehen zerreist die äussere Blase, während die innere in der Regel erhalten bleibt und davonschwebt.

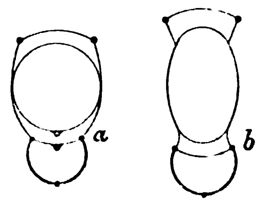


Fig. 1.

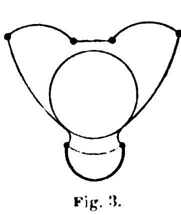
Die Kraft der Oberflächenspannung wird sehr augenfällig, wenn man wie eben eine Blase durch einen Ring beschwert, dann auf den mittleren Teil der Flüssigkeitsoberfläche einen ganz kleinen Ring bringt und diesen durchstösst; die Luft entweicht schnell und der untere Ring wird bis zur Berührung mit dem oberen empor gehoben. Durchstösst man statt dessen die Haut innerhalb des schweren Ringes, so geschieht die Hebung des Ringes so schnell, dass man ihn mit den Augen nicht verfolgen kann und dass das Gegenschlagen gegen den oberen Ring laut hörbar wird. Zur Messung der Oberflächenspannung wird in einen grösseren Ring, der mit einem ebenen Häutchen bezogen ist, ein kleinerer gebracht, dieser durchstossen und durch angehängte Gewichte so tief herabgezogen, bis die übrig gebliebene ringförmige Haut zerreisst; in diesem Moment beziehen sich beide Ringe wieder mit vollständigen Häuten.

(4.) Wird (wie bei Versuch 2) die äussere Blase auf den Ring gesetzt und die innere mit einem Gemisch von Luft und Leuchtgas gefüllt, so drückt diese gegen die obere Wand, die am dünnsten ist, und kann sich eine Stunde lang so erhalten. Durch Einführung von Gas in den Zwischenraum kann man es dahin bringen, dass die innere mehr im oberen oder im unteren Teil der grösseren schwebt; in diesem Falle kann auch eine Diffusion zwischen dem gasärmeren und dem gasreicheren Raume eintreten, infolge wovon die eingeschlossene Blase sinkt oder steigt. — **(5.)** Zwei Blasen wie vorher, so dass die innere eben gegen die obere Wand der äussern stösst. Wird nun eine Glasglocke darüber gehängt und in diese von oben ein Strom von Leuchtgas eingeleitet, so plattet sich die äussere Blase ab und hängt immer tiefer durch den Ring hindurch; infolge der Diffusion sinkt darauf auch die innere Blase in der äusseren; nimmt man die Glasglocke fort und bläst etwas Luft in die äussere Blase, so kann man es dahin bringen, dass die innere wieder steigt. — **(6.)** In einer umgekehrten Glasglocke wird Ätherdampf erzeugt; eine Blase schwimmt auf dem Dampf wie auf Kohlensäure, sinkt aber unter lebhaftem Farbenspiel allmählich tiefer und zerplatzt endlich. Dass Diffusion von Ätherdampf stattgefunden hat, kann man durch die Entzündung zeigen, die eintritt, wenn man eine solche Blase auf einem befeuchteten Drahtring wieder aus dem Behälter heraushebt und einer Flamme nähert; nach dem Eintauchen eines ebenen Häutchens in Ätherdampf findet eine solche Entzündung nicht statt. **(7.)** An

das etwas erweiterte Ende einer Glasröhre blase man eine grosse Seifenblase und halte sie in Ätherdampf, während man das obere Ende der Röhre mit dem Finger verschliesst. Nach einigen Sekunden lässt sich die Blase nur schwierig wieder herausheben, weil sie schwerer geworden ist und in Luft von der Röhre abreisst. Gelingt dies, so hängt sie wie ein schwerer Tropfen an der Röhre, lüftet man den Finger, so entzündet sich der ausströmende Dampf an einer Flamme. Bei Projektion der Blase sieht man überdies deutlich den Schatten des schweren, an der Unterseite der Blase wieder in die Luft diffundierten Ätherdampfes. — **(8.)** Eine Blase mit Sauerstoff geblasen und kurze Zeit in ein Gefäss mit Ätherdampf getaucht explodiert an einer Flamme mit lautem Knall. — **(9.)** Sucht man innerhalb einer leuchtgasgefüllten Blase eine andere mit Luft herzustellen, so reisst diese sehr bald ab und demonstriert so die relative Schwere der Luft. — **(10.)** Wird bei No. 4 ein Aluminiumring angewendet, so kann man an diesen einen langen Faden und ein Papierblatt anknüpfen; das Ganze wird dann durch die innere mit Gas gefüllte Blase schwebend erhalten. —

(12.) Wird eine Blase innerhalb einer andern erzeugt, wie in (3), und der Stelle der Wand, wo beide gegen einander drücken, eine starkschwingende Stimmgabel genähert, so geraten beide Häute in heftige Bewegung (deren Vorhandensein man an den Lichtbildern in beiden Oberflächen deutlich erkennen kann), ohne dass die trennende Luftschicht verschwindet. — **(13.)** Eine kugelige Seifenblase kann in den Interstitien der Plateau'schen Figuren hin und her gerollt werden, ohne dass ein Ineinanderfliessen eintritt. — **(14.)** Auf einer nach Plateau erzeugten Schraubenfläche aus Seifenhaut lassen sich solche Kugeln auf- und abwärts bewegen. **(15.)** An einer cylindrisch ausgezogenen Seifenblase lässt sich der Einfluss des Magnetismus auf eingeschlossene Gase erkennen (Sauerstoff). —

(16.) Zwei Blasen, auf isolierten Ringen angebracht und einander berührend, verschmelzen mit einander, sobald im Abstand von einigen Yards ein Elektrophordeckel aufgehoben wird (Fig. 2a, b); ebenso wenn man sie mit den Polen eines einzigen Bichromat-Elementes verbindet; die geringe elektrische Anziehung zwischen den Oberflächen bewirkt die Entfernung der dazwischen befindlichen Luft. — **(17.)** Nähert man den Elektrophordeckel einem Paar Blasen wie in (3), so wird die Oberfläche deformiert, ohne dass ein Verschmelzen der Blasen eintritt; die äussere Blase demonstriert somit die Schirmwirkung eines Leiters auf einen von ihm umschlossenen in überzeugendster Weise. (Ähnliches hat Plateau an zwei in einander befindlichen, aber nicht sich berührenden Blasen gezeigt.) — **(18.)** Bringt man eine Doppelblase in Berührung mit einer einfachen, so verschmilzt diese bei elektrischer Erregung mit der äusseren, während die innere in der neugebildeten erhalten bleibt (Fig. 3). —


Fig. 3.

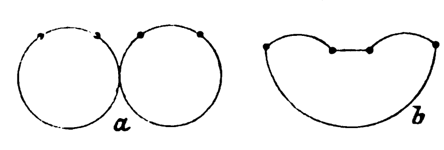


Fig. 2.

Zur Seifenlösung benutzt der Vortragende 1 Gewichtsteil ölsaures Natron auf 40 Gewichtsteile destilliertes Wasser. Die fertige Lösung wird mit $^1/_3$ Volumen Glycerin versetzt und eine Woche lang in verschlossenen Flaschen stehen gelassen, dann die klare Flüssigkeit durch einen Heber abgefüllt und mit einigen Tropfen Ammoniak geklärt. Die dicken Ringe sind aus verzinntem Eisendraht von $1^1/_2$ mm Durchmesser hergestellt und mit Schmiergelleinwand gereinigt; die dünnen Ringe werden am besten aus Aluminiumdraht von $1^1/_2$ mm Durchmesser angefertigt. Die Blasepfeife ist mit einer Art Ventil im Innern versehen, um die störende Beimischung von condensierter Feuchtigkeit zur Seifenlösung zu vermeiden. *P.*

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 18. Mai 1888. Herr C. Dieterici über eine Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers bei 0°. Die Messung geschah mittels des Eiscalorimeters und ergab 596,4 W. E., wärend Regnault nach seiner bei höherer Temperatur aufgestellten Formel den Wert 607 W. E. berechnet hatte. — Herr W. v. Bezold gab einen Überblick über seine Abhandlung „zur Thermodynamik der Atmosphäre“ (Berl. Sitz.-Ber. 1888, S. 485–522). Die Anwendung der graphischen Methode der Thermodynamik liefert, unter Hinzunahme der Luftfeuchtigkeit als dritter Coordinate, ein neues und wertvolles Mittel, um auch meteorologische Processe zu behandeln, die nicht als adiabatisch und reversibel gelten können.

Sitzung am 1. Juni 1888. Herr O. Lummer sprach über Abbe's neue Methode zur Bestimmung der Hauptpunkte und Brennweiten bei Linsen. — Herr H. v. Helmholtz sprach über Bewegungen in der Atmosphäre und ihre mechanische Deutung (Berl. Sitz-Ber. 1888, S. 647—663) und zog den Schluss, dass die hauptsächlichste Hemmung der Circulation unserer Atmosphäre nicht von der Reibung an der Erdoberfläche herrührt, sondern von der Vermischung verschieden bewegter Luftschichten durch Wirbel, welche durch „Aufrollung“ von Discontinuitätsflächen entstehen.

Sitzung am 15. Juni 1888. Nachdem der Vorsitzende, Herr H. v. Helmholtz, der Trauer um das an demselben Tage erfolgte Hinscheiden Kaiser Friedrichs III. Ausdruck gegeben, wurde die Sitzung geschlossen.

Sitzung am 29. Juni 1888. Herr R. v. Helmholtz sprach über ein von ihm benutztes Bolometer, bei welchem je zwei gegenüberliegende Widerstände der Wheatstone'schen Brücke gleichzeitig der Temperaturänderung ausgesetzt wurden. Eine theoretische Betrachtung zeigt, dass Stanniolstreifen dünnen Drähten vorzuziehen sind. Bei stationären Temperaturdifferenzen erweist sich die Thermosäule als empfindlicher, dagegen bei kurz dauernden Einwirkungen das Bolometer in Folge der geringen zu erwärmenden Masse geeigneter. — Herr F. Kötter sprach über einige Probleme der stationären Flüssigkeitsbewegung, welche durch die Methode der doppelten Abbildung lösbar sind. — Herr F. Neesen teilte Versuche mit einem Ätherdampf-Calorimeter mit. — Herr Gad demonstrierte Kulturen von Leuchtmoos (Schistostega osmundacea), welches die Eigenschaft hat, auffallendes Licht hauptsächlich nach der Richtung, in welcher es eingefallen ist, zu reflektieren.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 14. Mai 1888. Die von Anschütz construierte stroboskopische Trommel wurde demonstriert und dessen Momentphotographieen besprochen. Herr Poske teilte einen Versuch über die Verbrennung von Phosphor mit, desgleichen einen Versuch über das Schwimmen einer Nähnadel auf Wasser. Herr G. Arendt zeigte, dass eine zwischen den Fingern hindurchgezogene Nähnadel sich leicht auf Wasser legen lässt; der Versuch wurde von mehreren Seiten mit gleichem Erfolg wiederholt. — Herr Poske machte darauf Mitteilungen über neuere Apparate und Versuche. — Herr Szymanski besprach die magnetischen und elektrischen Apparate von G. Parragh.

Sitzung am 28. Mai 1888. Herr G. Arendt führte eine grössere Zahl von Unterrichtsapparaten vor, darunter Quincke's stroboskopische Tafeln und mehrere Apparate nach A. F. Weinhold.

Sitzung am 25. Juni 1888. Herr Schwalbe besprach neuere Litteratur über Schülerversuche, zeigte mehrere Elektroskope nach B. Kolbe und führte darauf eine Reihe von elektroskopischen Versuchen vor (vgl. d. H. S. 233). Derselbe zeigt im Anschlusse an den Faraday'schen Eiseimerversuch Versuche mit der zerlegbaren Leydener Flasche.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Demonstrationswage für Vorlesungsversuche

von Alb. Rueprecht, Wien.

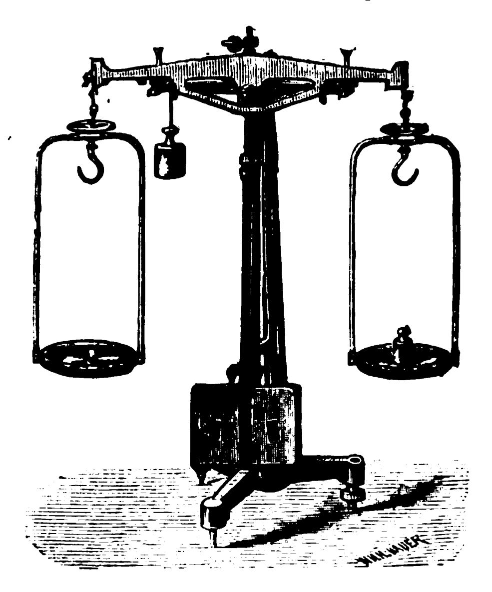
Diese Wage ist speziell für Gymnasien, Realschulen, höhere Gewerbe- und Handelsschulen bestimmt und sowohl zu physikalischen Vorlesungsversuchen als auch zur Erläuterung der Theorie der Wage geeignet. Der Träger der Wage ist eine gusseiserne, gerippte Säule, welche auf einem kräftigen Dreifuss mit Stellschrauben ruht; zwei bewegliche Arme, welche durch einen Excenter von der Rückseite her gehoben und gesenkt werden können, bilden die Arretierung. Für die Vertikalstellung ist ein Lot in der Mitte der Säule angebracht.

Der aus Messing gearbeitete Wagbalken ist durchbrochen, trägt oberhalb eine Tariervorrichtung für grobe und feine Einstellung, nach unten zu eine cylindrische Zunge mit in Federung leicht verschiebbarem Laufgewichte und endet in einem 1 cm breiten, geschwärzten Metallstreifen. Im arretierten Zustande der Wage bildet dieser Streifen die Fortsetzung eines gleich breiten, schwarzen Streifens, welcher den Mittelstrich einer grossen weit sichtbaren Skala an der Säule abgiebt. Diese Einteilung wird durch den erwähnten Mittelstrich und durch zwei weitere solche Streifen in einer Entfernung von etwa 4 cm von einander gebildet. Für scharfe Beobachtung des Spielens der Wage sind für den Vortragenden auf der oberen Kante der grossen Skala beiderseits von der Wagsäule Teilstriche ersichtlich gemacht. Während die eine Aufhängeaxe des Balkens



vollkommen fest sitzt, ist die andere behufs Verlängerung und Verkürzung eines seiner Arme mittels zweier Stellschrauben verschiebbar; durch das Einschrauben der äusseren mit dem Kreuzstifte versehenen Schraube wird das Verkürzen, durch die innere Kopfschraube hingegen das Verlängern dieses Armes herbeigeführt.

Genau in den Halbierungspunkten der beiden Arme sind, an verstellbaren Metallwinkeln, zwei weitere Aufhängeachsen fixiert, deren Drehungspunkte in der Ebene der Endachsen liegen. Durch diese Einrichtung ist der Wagbalken in vier selbständige Wagen geteilt, wovon zwei gleicharmig, zwei ungleicharmig sind. Zur Beweisführung, dass alle Drehungspunkte an der Wage in einer geraden Linie liegen müssen, sind zu beiden Seiten der oben erwähnten mittleren Schneiden zwei Paar weitere Aufhängepunkte geschaffen, und zwar durch die nach innen zustehenden Ösen, 1 cm unterhalb und durch die nach aussen zu angebrachten Öhre, 1 cm oberhalb der Ebene der äussersten und mittleren Achsen.



Die Wagschalen sind ziemlich weit herabreichende, messingene Bügelschalen, welche oben ein kleines Tarierschälchen mit einem Haken zum Aufhängen von zu wägenden Körpern tragen und unten in einen horizontalen Ring verlaufen, in welchem tarierte Einsatzschalen Aufnahme finden. Bei einer Belastung von 1 kg ist noch 1 cg durch Ausschlag weithin zu erkennen.

Die Wage kann namentlich zur Vorführung der folgenden Unterrichtsversuche benutzt werden: Teilbarkeit des Hebels (Hebelgesetz); Verlegung des Schwerpunktes im vertikalen Sinne; Zu- und Abnahme der Empfindlichkeit der Wage; Indifferenz und Labilität der Wage; proportionale Zu- und Abnahme der Empfindlichkeit bei Verlängerung oder Verkürzung des Hebels; Folgen der Verlegung der Ebene der Aufhängeachsen über oder unter die Drehschneide; Prüfung der Wage auf ihre Gleicharmigkeit; Justierung der ungleicharmigen Wage; richtiges Wägen mit der ungleicharmigen Wage; Bestimmung des Hebelfehlers; Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper. Gleichzeitig ist diese Wage durch ihre Einrichtung auch geeignet für chemische Vorlesungsversuche, die Demonstration der Dichtenverhältnisse der Gase zur atmosphärischen Luft und der durch Oxydation hervorgerufenen Gewichtszunahme metallischer Körper etc.

Die Wage kann auch von der Firma Warmbrunn, Quilitz & Co. in Berlin zum Originalpreise (115 M.) bezogen werden.

Correspondenz.

M. K. — Es verdient in der That bemerkt zu werden, dass bei der pendelnden Scheibe von Fr. C. G. Müller (d. Zeitschr. S. 205) das die Schwingungen unterhaltende, an dem langen Faden jenseits der Rolle angebrachte kleine Gewicht nur unendlich wenig auf und ab schwanken darf, und dass bei Schwankungen von endlicher Grösse der Zug an dem Faden nicht genau gleich dem Gewichte ist.

H. J. — Die übliche Begründung der Aberration des Lichtes ist allerdings sehr mangelhaft. Doch auch der von Ihnen übersandte Versuch einer Ableitung aus dem Huygens'schen Prinzip ist nicht einwurfsfrei. Eine exaktere Darstellung, durch Ihre Einsendung veranlasst, wird demnächst von einem Mitarbeiter d. Ztschr. gegeben werden.

N., *Danzig.* — Die erdmagnetischen Elemente für Danzig und mehrere andere Orte sollen im nächsten Jahrgang veröffentlicht werden.

R. S., *Budapest.* — Ihr Aufsatz über G. Parragh's Unterrichtsapparate kann aus Mangel an Raum erst im nächsten Heft erscheinen.



Namen-Verzeichnis.

Nur bei Verfassern von Original-Beiträgen ist dem Namen die Inhaltsangabe der Abhandlung oder Mitteilung hinzugefügt.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Otto Lange in Berlin C.



